МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра теоретической физики



Рабочая программа дисциплины

НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФИЗИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направление подготовки **03.04.01 Прикладные математика и физика**

Направленность (профиль): **все профили подготовки**

Форма обучения **Очная**

Семестр	**Общий объём**	**Виды учебных занятий (в часах)**				**Промежуточная аттестация (в часах)**				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачёт	Дифференцированный зачёт	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-1 (03.04.02 Физика, 03.04.01 Прикладные математика и физика)										

Руководитель программы
д.ф.-м.н. И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. 4

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. 5

5. Перечень учебной литературы. 7

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. 8

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. 8

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. 8

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. 9

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. 9

1. **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Дисциплина «Нелинейные процессы физики сплошных сред» представляет собой прямое продолжение дисциплины «Физика сплошных сред» (ФСС), реализуемой в программе бакалавриата. Курс «Нелинейные процессы физики сплошных сред» показывает междисциплинарные связи на основе общности подходов и методов в описании явлений различных разделов ФСС.

Целью освоения курса является ознакомление студентов с:

1) фундаментальными процессами нелинейной физики сплошных сред, включая разделы электродинамики сплошных сред, гидродинамики и теории упругости;

2) понятиями, моделями и теоретическими методами, применяемыми для описания различных нелинейных явлений в физике сплошных сред, и методами решения нестандартных задач, возникающих в процессе подготовки физических экспериментов и конструирования физических установок.

Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Необходимой предпосылкой для успешного освоения курса являются знания математических дисциплин (линейной векторной и тензорной алгебры, математического анализа, функционального анализа, теории функций комплексной переменной, методов математической физики) и умение применять эти знания при решении задач. Некоторые дополнительные математические сведения даются непосредственно в лекциях курса НПФСС. В цикле физических дисциплин необходимыми для успешного усвоения НПФСС являются курсы «Физика сплошных сред», «Термодинамика», «Электродинамика», «Аналитическая механика» и «Физическая кинетика».

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. (03.04.02 Физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2**. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** основные математические модели и уравнения, которые применяются в нелинейной физике сплошных сред; физические явления, которые описываются в рамках слабо-нелинейной волновой динамики в оптике и теории плазмы, в теории когерентных нелинейных волн и вихрей в гидродинамике, развитой турбулентности, эффектов памяти и автоколебаний. Знать основные методы, необходимые для работы с этими типами моделей и явлений. **Уметь** распознавать и классифицировать физические явления и соответствующие им теоретические модели; строить математические модели для новых явлений; выделять в моделях стандартные элементы и предельные случаи, сводящиеся к известным; использовать приближённые методы
ОПК-1. (03.04.01 Прикладные математика и	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные зна-	

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	ния, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	исследования нелинейных систем. **Владеть** методами построения и анализа моделей нескольких классов нелинейных явлений в физике сплошных сред.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Нелинейные процессы физики сплошных сред» изучается в весеннем семестре студентами первого курса магистратуры физического факультета, обучающимися по направлению подготовки **03.04.02 Физика**, **03.04.01 Прикладные математика и физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой теоретической физики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким дисциплинам как линейная векторная и тензорная алгебры, математический анализ, функциональный анализ, теория функций комплексной переменной, методы математической физики, физика сплошных сред, термодинамика, электродинамика, механика и физическая кинетика. Курс НПФСС в магистратуре предназначен не только для студентов, скажем, квантовых специальностей, вообще не имеющих спецкурсов по физике сплошных сред, но и для студентов профильных специализаций. Поскольку в рамках НПФСС рассматриваются явления не одного, а нескольких разделов физики, поэтому он гораздо шире любой кафедральной программы.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)
Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен

Таблица 3.1

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	32

3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч, из них	68
5	из них аудиторных занятий, ч	64
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	76
10	Всего, ч	144

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

Лекции (32 ч) Таблица 4.1

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Раздел 1. Слабонелинейные процессы	
Нелинейная диэлектрическая проницаемость. Матричные элементы взаимодействия волн. Трёхволновое взаимодействие. Классические и сильные резонансные динамические нелинейности. Удвоение частоты в нелинейном кристалле. Распадные и нераспадные спектры. Симметрии матричных элементов, соотношения Мэнли-Роу. Уравнения Бломбергена. Оптомеханические эффекты. Дифракция света на звуковой волне. Четырёхволновое взаимодействие. Самосжатие и самофокусировка волновых пакетов. Критерий Лайтхилла. Квазилинейное волновое уравнение, квазилинейная релаксация. Кинетическое уравнение для волн. Возникновение стохастичности (хаоса) в динамических системах. Концепция слабой турбулентности.	8
Раздел 2. Когерентные нелинейные процессы	
Гидродинамическая нелинейность. Координаты Лагранжа. Уравнение Хопфа. Простые волны. Образование поверхности разрыва в звуковой волне. Гидродинамическая нелинейность и диссипация. Слабая ударная волна, уравнение Бюргерса. Классификация поверхностей разрыва в идеальном газе. Ударная волна. Адиабата Гюгонио. Направление изменения величин в ударной волне. Волны разрежения. Гидродинамическая нелинейность и дисперсия. Нелинейные волны на мелкой воде, уравнение Кортевега-де Фриза. Кноидальные волны и солитоны. Бесстолкновительные ударные волны в плазме. Уравнение Захарова. Солитон огибающей. Вихревое движение жидкости. Вихри Росби. Циклоны и антициклоны в атмосфере земли. Обтекание тонкого крыла. Подъёмная сила. Теорема Жуковского. Дефекты в упругом теле. Предел упругости. Эффекты памяти в твёрдом теле, гистерезис в ферромагнетиках. Жидкие кристаллы, их оптические свойства и применения. Конвективная неустойчивость в атмосфере. Конвекция Рэлея-Бенара. Образование гексагональных структур. Динамика структуры конвективных ячеек при возрастании нагрева и переход к хаосу. Метод Галёркина для описания конвекции вязкой жидкости. Модель Лоренца. Странный аттрактор. Автоколебания в сплошных средах. Образование структур. Синергетика.	16

Раздел 3. Турбулентность	
Гидродинамические неустойчивости и модели перехода к турбулентности. Мягкое и жёсткое возбуждение. Квазипериодическое движение и синхронизация частот. Развитая турбулентность. Самоподобие поля скоростей. Корреляционные функции скоростей. Каскадный перенос энергии. Спектр Колмогорова-Обухова. Логарифмический профиль турбулентного течения, турбулентное течение в трубах. Переход к статистическому описанию турбулентности. Усреднённые уравнения движения. Тензор напряжений Рейнольдса. Турбулентная диффузия и турбулентная вязкость. Расплывание пятна в турбулентной жидкости. Турбулентная релаксация при наличии мягких и жёстких инвариантов. Релаксированные состояния, модель Тейлора для бессилового равновесия плазмы.	8

Практические занятия (32 ч) Таблица 4.2

Содержание практического занятия	Объем, час
Раздел 1. Слабонелинейные процессы	
Занятие 1. Тензоры. Элементарные тензорные операции. Инвариантные тензоры. Уравнения Максвелла для высокочастотного поля в сплошной среде. Анализ волновых свойств среды на примере холодной плазмы. Нелинейная диэлектрическая проницаемость для холодной незамагниченной плазмы. Распадные и нераспадные спектры при трёхволновом взаимодействии. Графический метод определения «распадности» спектра.	2
Занятие 2. Уравнения Бломбергена. Законы сохранения для трёх волн. «Взрывная» неустойчивость при наличии волны с отрицательной энергией.	2
Занятие 3. Самосжатие и самофокусировка волновых пакетов. Геометрическая оптика для слабонелинейных волновых пакетов.	2
Занятие 4. Кинетическое уравнение для волн. Формирование спектра в замкнутой и открытой системах.	2
Раздел 2. Когерентные нелинейные процессы	
Занятие 1. Координаты Лагранжа. Уравнение Хопфа. Разлёт облака заряженной пыли. Обрушение волны в облаке пыли. Образование поверхностей разрыва в звуковой волне. Нелинейные искажения звука в акустических системах.	2
Занятие 2. Эволюция простой волны при наличии вязкости. Оценка ширины фронта ударной волны. Поверхности разрыва. Волна разрежения. **(2 часа)**	2
Занятие 3. Сильная ударная волна в газе. Отражение ударной волны от препят-	4

ствия. Ударная волна с детонацией.	
Занятие 4. Волны на мелкой воде. Классификация и свойства решений уравнения Кортевега-де Фриза. Солитоны в уравнениях Захарова и Кортевега-де Фриза.	2
Занятие 5. Обтекание, образование вихрей и подъёмная сила тонкого крыла в дозвуковом потоке.	2
Занятие 6. Жидкие кристаллы.	2
Занятие 7. Конвективная неустойчивость. Образование гексагональной структуры конвективных ячеек при конвекции Рэлея-Бенара.	2
Раздел 3. Турбулентность	
Занятие 1. Спектры в модели двумерной турбулентности. Турбулентность при наличии дополнительных интегралов движения.	2
Занятие 2. Разбегание траекторий пробных частиц в среде с развитой турбулентностью. Расплывание пятна.	4
Занятие 3. Ламинарный слой на границе турбулентного потока. Течение турбулентного потока по трубе.	2

Самостоятельная работа студентов (76 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	12
Решение домашних задач	46
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. — Изд. 3-е, перераб. — 1986. — 736 с.: ил. — (Теоретическая физика, т. VI).
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. — Изд. 4-е, испр. и доп. — 1987. — 244 с.: ил. — (Теоретическая физика, т. VII).
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 1982. — 620 с.: ил. — («Теоретическая физика», том VIII).
4. Векштейн Г.Е. Физика сплошных сред в задачах: [учебное пособие]. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1991. — 171 с.: ил.
5. Лотов К.В. Физика сплошных сред: учебное пособие: [для студентов физического факультета НГУ]. — М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Издательско-полиграфический центр НГУ, 2018. — 135 с.: ил.
6. Седов Л.И. Механика сплошной среды, тт. I, II. М: Наука, 1983-1984.

7. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, вып. 5 – 7, Мир, Москва, 1966.
8. Стрэттон Дж.А. Теория электромагнетизма. — Москва; Ленинград: Гостехиздат, 1948. — 540 с.: ил.
9. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н., Сборник задач по электродинамике. — 3-е изд., испр. — Москва: Регуляр. и хаотич. динамика, 2002. — 639 с.: ил.
10. Ландсберг Г.С. Оптика. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: Наука, 1976. — 926 с.: ил.
11. Горшков А.Г., Рабинский Л.Н., Тарлаковский Д.В. Основы тензорного анализа и механика сплошной среды. — М.: Наука, 2000. — 214 с.: ил.
12. Труселл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. — М.: Мир, 1975. — 592 с.
13. Тимошенко С.П. Теория упругости. — Москва: Наука, 1975. — 575 с.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Лотов К.В. Физика сплошных сред: учебное пособие: [для студентов физического факультета НГУ]. — М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Издательско-полиграфический центр НГУ, 2018. — 135 с.: ил.
2. Векштейн Г.Е. Физика сплошных сред в задачах: [учебное пособие]. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1991. — 171 с.: ил.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть «Интернет».

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные работы, предполагающие решение задач.

Промежуточная аттестация.

Освоение компетенции оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области квантовой физики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ОПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда компетенция освоена не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Код	Индикатор	Результат обучения по дисци-	Оценочные сред-

компе-тенции		плине	ства
ОПК-1	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.	**Знать** основные математические модели и уравнения, которые применяются в нелинейной физике сплошных сред; физические явления, которые описываются в рамках слабо-нелинейной волновой динамики в оптике и теории плазмы, в теории когерентных нелинейных волн и вихрей в гидродинамике, развитой турбулентности, эффектов памяти и автоколебаний. Знать основные методы, необходимые для работы с этими типами моделей и явлений.	Проведение контрольных работ, решение задач, экзамен.
	ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.	**Уметь** распознавать и классифицировать физические явления и соответствующие им теоретические модели; строить математические модели для новых явлений; выделять в моделях стандартные элементы и предельные случаи, сводящиеся к известным; использовать приближённые методы исследования нелинейных систем. **Владеть** методами построения и анализа моделей нескольких классов нелинейных явлений в физике сплошных сред.	Проведение контрольных работ, решение задач, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Нелинейные процессы физики сплошных сред»

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Решение заданий:</u> – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **<u>Экзамен:</u>** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и	*Отлично*

аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	
Решение заданий: – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **Экзамен:** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	*Хорошо*
Решение заданий: – задание решено правильно, - работа оформлена неаккуратно – неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа, – нет осмысленности в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. При ответах на вопросы допускает ошибки **Экзамен:** – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок,	*Удовлетворительно*

– наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	
Решение заданий: – задание решено неправильно, – компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. На дополнительные вопросы не отвечает. **Экзамен:** – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники, – непонимание причинно-следственных связей, – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	*Неудовлетворительно*

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Задания по курсу «Нелинейные процессы физики сплошных сред»

ЗАДАНИЕ №1

1. Волна t с законом дисперсии $\omega_t(k)=ak^{3/4}$ распадается по схеме $t \to t'+s$ на волну t' аналогичного типа и звуковую волну s с законом дисперсии $\omega_s(k)=kc_s$. Найти минимальную длину исходной волны, при которой возможен распад.
2. Плоская электромагнитная волна с частотой ω падает под углом α на толстую плоскопараллельную пластину, в которой создана стоячая звуковая волна, так что диэлектрическая проницаемость пластины модулирована: $\varepsilon(x,t)=1+\delta+\delta\sin(k'x)\sin(\omega' t)$, где $\delta << 1$, $\omega'/k' = c_s$, x – координата по нормали к поверхности пластины. а). Найти углы α, при которых коэффициент отражения от всей пластины порядка единицы. Отражением от поверхности пренебречь. б). Найти коэффициент конверсии волны при прохождении через пластину толщиной L по нормали.
3. Известно, что среда имеет небольшой показатель поглощения, а при нагревании её показатель преломления линейно увеличивается с температурой. Кроме того, групповая скорость электромагнитной волны велика по сравнению со скоростью установления теплового рав-

новесия поперёк луча. Будет ли в этой среде наблюдаться самосжатие или самофокусировка мощного лазерного излучения? Почему?

4.

ЗАДАНИЕ №2

1. Ударная волна с числом Маха M распространяется в идеальном одноатомном газе с давлением p и плотностью ρ. Во фронте волны происходит химическая реакция, делающая газ идеальным двухатомным с выделением энергии на единицу массы газа равным q. Найти максимальное q, при котором существуют слабые ударные волны ($M=1+\varepsilon$).
2. Оценить расстояние от динамика, на котором нелинейные искажения звука превышают 10%, если считать, что динамик идеально воспроизводит звук с амплитудой по давлению в 0,1% от атмосферного давления. Длина волны звука - около 1м.
3. Оценить скорость ветра на высоте 1км в циклоне диаметром 500км на средних широтах, если падение давления в его центре составляет 10% от атмосферного.

ЗАДАНИЕ №3

1. Шарик радиуса a, находящийся в идеальной несжимаемой жидкости на расстоянии $l >> a$ от твёрдой стенки, движется с постоянной скоростью по нормали к ней. Найти распределение давления по поверхности стенки. Плотность жидкости ρ.
2. Вертикальная трубка радиуса R заполнена вязкой жидкостью с плотностью ρ и находится в поле тяжести. На оси трубки помещён длинный невесомый цилиндр радиуса $r<R$, так что $R-r << R$, $R << L$, где L - длина цилиндра. Найти коэффициент вязкости жидкости η, если скорость всплывания цилиндра равна u.
3. Найти распределение температуры $T(r)$ вязкой жидкости в задаче о течении Пуазейля по трубе круглого сечения. Температура стенок трубы T_0 поддерживается постоянной. Коэффициент кинематической вязкости жидкости ν, её теплоёмкость при постоянном давлении c_p, коэффициент температуропроводности χ.

ЗАДАНИЕ №4

1. Между двумя плоскими параллельными жесткими пластинами вставлен брусок с исходным сечением $d_1 \times d_2$. Какую минимальную силу необходимо приложить, чтобы вытянуть брусок из канала, если коэффициент трения его боковой поверхности (d_1) о поверхность канала

равен k ($k << 1$), а длина бруска $L >> d_1, d_2$? Зазор между пластинами равен a, причем $a < d_2$. Модуль Юнга E и коэффициент Пуассона σ бруска заданы. *Указания. Считать, что до приложения вытягивающей силы в бруске не было продольных напряжений. Найти, какие компоненты тензора деформации не изменяются при ``включении'' вытягивающей силы. Воспользоваться уравнением равновесия тела. Значение комбинации параметров σ kl/a произвольно.*

2. Прямая вертикальная опора с длиной L и сечением $a \times a$ жёстко закреплена в основании. Найти максимальный вес, который она может удерживать, не изгибаясь, если её модуль Юнга равен E.

Вопросы на экзамен

1. Нелинейная диэлектрическая проницаемость. Фурье-представление уравнений Максвелла.
2. Трёхволновое взаимодействие. Распадные и нераспадные спектры. Графический метод.
3. Симметрии матричных элементов трёхволнового взаимодействия, соотношения Мэнли-Роу. Уравнения Бломбергена.
4. Четырёхволновое взаимодействие, частный случай взаимодействия идентичных волн. Нелинейное параболическое уравнение.
5. Самосжатие и самофокусировка волновых пакетов в нелинейной среде. Критерий Лайтхилла.
6. Кинетическое уравнение для волн. Квазилинейное приближение.
7. Гидродинамическая нелинейность. Уравнение Хопфа. Координаты Лагранжа. Опрокидывание волн.
8. ``Простые'' волны. Образование поверхности разрыва в звуковой волне.
9. Слабая ударная волна. Уравнение Бюргерса. Классификация поверхностей разрыва в идеальном газе.
10. Ударная волна. Адиабата Гюгонио.
11. Направление изменения величин в ударной волне. Волны разрежения.
12. Уравнение Кортевега-де Фриза и его решения. Бесстолкновительные ударные волны в плазме.
13. Форма поверхности жидкости в поле тяжести в присутствии вихря.
14. Нелинейное уравнение Шредингера и его решения. Солитон огибающей.
15. Вихревое движение жидкости. Эволюция завихренности. Движение тонких вихрей.
16. Волны Росби. Циклоны и антициклоны в атмосфере земли.
17. Подъёмная сила. Теорема Жуковского.
18. Обтекание тонкого крыла.
19. Внутренние напряжения и дефекты в упругом теле. Дислокации. Вектор Бюргерса.
20. Движение дислокаций в упругом теле. Пластические деформации.
21. Конвективная неустойчивость в несжимаемой жидкости. Конвекция Рэлея-Бенара.
22. Метод Галёркина для описания конвекции вязкой жидкости. Модель Лоренца. Странный аттрактор.
23. Мягкое и жёсткое возбуждение турбулентности.
24. Турбулентность. Модели перехода к турбулентности. Развитая турбулентность.
25. Каскадный перенос энергии при развитой турбулентности. Спектр Колмогорова-Обухова.

26. Логарифмический профиль турбулентного течения вблизи стенки, турбулентное течение в трубах.
27. Нелинейные волны на мелкой воде. Вывод уравнения Кортевега-де Фриза.

1. Определить, является ли спектр колебаний распадным по заданному виду дисперсионных соотношений для участвующих в трёхволновом взаимодействии волн (графическим методом).
2. Определить, могут ли происходить самосжатие и самофокусировка волновых пакетов в нелинейной среде с заданными свойствами.
3. Вывести нелинейное параболическое уравнение для распространения волнового пакета в нелинейной диспергирующей среде.
4. Найти инкремент распадной неустойчивости в среде, описываемой уравнениями Бломбергена с известными матричными элементами взаимодействия.
5. Найти момент и точку опрокидывания нелинейной волны в облаке пыли (заряженной или нет).
6. Найти степень нелинейных искажений звука на заданном расстоянии от источника.
7. Найти параметры газа за фронтом заданной плоской ударной волны.
8. Найти условия отражения ударных волн от поверхности разрыва (одномерный случай).
9. Вывести уравнение Кортевега-де Фриза для волн на мелкой воде.
10. Найти форму свободной поверхности жидкости в поле тяжести в присутствии вихря с заданным распределением завихренности.
11. Найти изменение атмосферного давления в центре циклона или антициклона с известной скоростью ветра.
12. Вывести условие возникновения валиковой конвекции в несжимаемой жидкости.
13. Вывести уравнения Лоренца методом Галёркина из уравнений конвекции.
14. Найти траектории движения тонких вихрей в идеальной жидкости (в т.ч. вблизи плоских границ).
15. Вывести спектр Колмогорова-Обухова для развитой турбулентности.
16. Оценить скорость расплывания пятна в среде с развитой турбулентностью.
17. Найти поток жидкости по трубе при турбулентном течении.
18. Найти подъёмную силу плоского тонкого крыла.

Пример экзаменационного билета

1. Нелинейная диэлектрическая проницаемость. Фурье-представление уравнений Максвелла.
2. Логарифмический профиль турбулентного течения вблизи стенки, турбулентное течение в трубах.
3. Найти параметры газа за фронтом заданной плоской ударной волны.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям стандартов, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.