

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета


(подпись)

И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Волновые процессы в сплошных средах»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности
1.3.4 «Радиофизика»

Форма обучения очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются формирование способности к овладению базовыми знаниями в области механики сплошных сред, гидродинамики и распространения волн в сплошных средах. В процессе ознакомления с предметом студенты изучат аналитические асимптотические методы анализа уравнений движения в механике сплошных сред.

Задачи курса – способствовать формированию у студентов навыка работы аналитическими асимптотическими методами и навыка обработки экспериментальных измерений.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина относится факультативным дисциплинам.

Требует знаний, полученных при изучении дисциплин «Математический анализ», «Теория функций комплексной переменной», «Методы математической физики», а также блока «Физика колебательных и волновых процессов» Знания, умения и навыки, полученные при изучении дисциплины, используются студентами в НИРС.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные уравнения механики жидкостей.

Уметь:

- выбрать численный или аналитический асимптотический метод и разработать алгоритм решения задачи.

Владеть:

- навыками практического использования численных и аналитических методов для приобретения новых знаний об исследуемых объектах, процессах, явлениях.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Волны и уравнения первого порядка	2	0,5					6	Устный опрос
2	Волновое уравнение	2	1					6	Устный опрос
3	Иерархия волн	2	0,5					6	Устный опрос
4	Линейные диспергирующие волны	2	0,5					6	Устный опрос

5	Картины волн	2	0,5					6	Устный опрос
6	Волны на воде	2	0,5					6	Устный опрос
7	Нелинейная дисперсия и вариационные методы	2	1					6	Устный опрос
8	Групповые скорости, неустойчивость и уточнение эффектов дисперсии	2	0,5					6	Устный опрос
9	Приложения нелинейной теории	2	0,5					6	Устный опрос
10	Точные решения. Взаимодействующие уединённые волны	2	0,5					6	Устный опрос
		2				2	0,3	3,7	Зачёт
	Всего		6			2	0,3	63,7	

Содержание разделов дисциплины

1. Волны и уравнения первого порядка

Непрерывные решения. Кинематические волны. Ударные волны. Структура ударной волны. Слабые ударные волны. Условие опрокидывания. Одиночный горб. Периодическая волна. Задача с краевым условием, распространение сигнала. Более общие квазилинейные уравнения. Затухающие волны. Волны от движущегося источника. Нелинейные уравнения первого порядка.

2. Волновое уравнение

Плоские волны. Сферические волны. Цилиндрические волны. Задача Коши в двух и трёх измерениях. Геометрическая оптика. Неоднородная среда. Анизотропные волны.

3. Иерархия волн

Точные решения линеаризованной задачи. Упрощённый подход. Системы высокого порядка, нелинейные эффекты и ударные волны.

4. Линейные диспергирующие волны

Дисперсионные соотношения. Соответствие между уравнением и дисперсионным соотношением. Определение диспергирующих волн. Общее решение в виде интеграла Фурье. Асимптотическое поведение решения. Групповая скорость, распространение возмущений волнового числа и амплитуды. Распространение энергии. Вариационный подход. Неоднородная среда. Нелинейные волновые пакеты. Непосредственное использование асимптотических разложений.

5. Картины волн

Дисперсионное соотношение для волн на воде. Гравитационные волны. Капиллярные волны. Комбинированные эффекты гравитации и поверхностного натяжения. Дисперсия от мгновенного точечного источника. Волны на поверхности стационарного потока. Корабельные волны. Капиллярные волны на тонком слое воды. Волны во вращающейся жидкости. Волны в стратифицированной жидкости.

6. Волны на воде

Уравнения для волн на воде. Вариационная формулировка. Линеаризованная формулировка. Линейные волны на воде постоянной глубины. Задача Коши. Поведение

решения вблизи фронта волнового пакета. Волны на поверхности раздела между двумя жидкостями. Поверхностное натяжение. Волны на поверхности стационарного потока. Теория мелкой воды, длинные волны. Уравнения Кортевега-де Фриза и Буссинеска. Уединённые и кноидальные волны. Волны Стокса. Опрокидывание и заострение волн.

7. Нелинейная дисперсия и вариационные методы

Нелинейное уравнение Клейна-Гордона. Вариационный подход к теории модуляции. Преобразование Гамильтона. Теория возмущений. Обобщения на большее число переменных. Многофазовые волновые пакеты. Эффекты диссипации.

8. Групповые скорости, неустойчивость и уточнение эффектов дисперсии

Почти линейный случай. Характеристическая форма уравнений. Случай нескольких зависимых переменных. Тип уравнений и устойчивость. Нелинейная групповая скорость, групповое расщепление, ударные волны. Дисперсионные эффекты в приближении более высокого порядка. Анализ Фурье и нелинейные взаимодействия.

9. Приложения нелинейной теории

Волны на воде: усреднённый вариационный принцип для волн Стокса, уравнения модуляций, уравнения сохранения, индуцированное среднее течение, глубокая вода, устойчивость волн Стокса, волны Стокса на отмели, на поверхности потока. Уравнение Кортевега-де Фриза: вариационная формулировка, характеристические уравнения, случай малой амплитуды, последовательность уединённых волн.

10. Точные решения. Взаимодействующие уединённые волны

Канонические уравнения. Уравнение Кортевега-де Фриза: взаимодействующие уединённые волны, обратная задача рассеяния, частный случай чисто дискретного спектра, уединённые волны, образованные начальным распределением произвольного вида, преобразование Миуры и уравнения сохранения. Кубическое уравнение Шрёдингера и его приложения: однородные волновые пакеты и уединённые волны, обратная задача рассеяния. Уравнение Син-Гордона: периодические волновые пакеты и уединённые волны, взаимодействие уединённых волн, преобразования Беклунда, обратная задача рассеяния для уравнения Син-Гордона. Решение Тоды для экспоненциальной цепочки. Уравнение Борна-Инфельда: взаимодействующие волны.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения проводятся лекции, в ходе которых используются следующие типы занятий и образовательные технологии.

Вводная лекция - ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

Учебно-методическое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав:

а) Профессиональные базы данных:

1. Портал научной электронной библиотеки - <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Федеральная университетская компьютерная сеть России - <http://www.runnet.ru/>

б) Информационные справочные правовые системы:

1. СПС «Консультант-плюс» - <http://www.consultant.ru/>
2. СПС «Гарант» - <http://www.garant.ru/>

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Кочин Н. Е. Теоретическая гидромеханика: учебник для вузов. / Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе; под ред. И. А. Кибеля - М.: Гостехтеориздат, 1955.
2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов : в 10 т.. Т. 6, Гидродинамика. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; М-во образования РФ - 5-е изд., стереотип. - М.: Физматлит, 2003. - 731 с.

б) дополнительная литература:

1. [Уизем Дж. Б. Линейные и нелинейные волны. / Дж. Б. Уизем; пер. с англ. В. В. Жаринова; под ред. А. Б. Шабата - М.: Мир, 1977. - 622 с.](#)
2. [Лэмб Г. Динамическая теория звука. / Г. Лэмб; пер. с англ. Н. С. Агеевой; под ред. М. А. Исаковича - М.: Физматгиз, 1960. - 372 с.](#)
3. [Стретт Дж. В. \(Лорд Рэлей\) Теория звука. Т. 1. / Дж. В. \(Лорд Рэлей\)Стретт; пер. с англ - 2-е изд. - М.: Гостехтеоретиздат, 1955. - 503 с.](#)
4. [Стретт Дж. В. \(Лорд Рэлей\) Теория звука. Т. 2. / Дж. В. \(Лорд Рэлей\)Стретт; пер. с англ - 2-е изд. - М.: Гостехтеоретиздат, 1955. - 475 с.](#)

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

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

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.

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

Автор:

Доцент кафедры интеллектуальных

информационных радиofизических систем, к.ф.-м.н. А.А. Очиров

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Волновые процессы в сплошных средах»**

**Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации аспирантов
по дисциплине**

**1. Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Вопросы к устному опросу

Устный опрос проводится по вопросам из списка вопросов к зачёту.

2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачёту

(зачёт выставляется по результатам ответов на вопросы)

1. Модель идеальной (невязкой) жидкости. Вид вектора напряжения на площадке с заданной нормалью. Вычисление силы, действующей на тело в потоке идеальной жидкости.
2. Уравнение движения идеальной жидкости — уравнение Эйлера. Замкнутая система уравнений в случае течений однородной несжимаемой идеальной жидкости.
3. Типичные граничные условия. Условие непротекания на границе идеальной жидкости с твердым телом.
4. Интеграл Бернулли для установившихся течений идеальной несжимаемой жидкости в потенциальном поле массовых сил.
5. Потенциальные течения. Уравнение Лапласа для потенциала скорости для течения несжимаемой жидкости. Интеграл Коши — Лагранжа для течений идеальной несжимаемой жидкости в потенциальном поле массовых сил.
6. Использование интегральных соотношений, следующих из законов сохранения массы и импульса.
7. Модель несжимаемой вязкой жидкости. Вид зависимости тензора напряжений от давления и тензора скоростей деформаций (закон Навье — Стокса). Коэффициент динамической вязкости. Коэффициент кинематической вязкости.
8. Уравнение движения для несжимаемой вязкой жидкости (уравнение Навье — Стокса). Замкнутая система уравнений для несжимаемой вязкой жидкости. Типичные граничные условия. Условие прилипания на границе с твердым телом.
9. Число Рейнольдса как отношение инерционных и вязких сил при стационарных течениях. Упрощение уравнения Навье — Стокса при малых числах Рейнольдса (уравнение Навье — Стокса в приближении Стокса).
10. Закон теплопроводности Фурье. Уравнение баланса энергии. Уравнение притока тепла. Уравнение теплопроводности как частный случай уравнения притока тепла для покоящейся жидкости.
11. Размерность физической величины. Формулировка пи-теоремы теории размерностей. Использование пи-теоремы для моделирования физических явлений. Критерии подобия.
12. Оценка порядков слагаемых в уравнениях механики сплошных сред.

3. Критерии выставления оценки

По окончании освоения дисциплины аспиранту выставляется одна из оценок: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если ответ на вопрос в ходе зачёта соответствует минимум пороговому уровню (см. таблицу критериев оценивания ответов на вопросы).

Если же ответы на вопросы имеют уровень ниже порогового, выставляется оценка «незачтено».

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос билета раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные