

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук

ОДОБРЕНО
на заседании Ученого совета
ТОИ ДВО РАН, протокол № 6
« 30 » августа 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОИ ДВО РАН
В.Б. Лобанов
« 06 » сентября 2018 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)
«ГИДРОДИНАМИКА»

Направление подготовки
03.06.01 **Физика и астрономия (Теоретическая физика)**
Форма подготовки – очная

Курс 2, семестры 3, 4
Лекции 108 час.
Практические занятия
Лабораторные работы
Всего часов аудиторной нагрузки 108 час.
Самостоятельная работа 36 час.
Контрольные работы (количество)
Курсовая работа/курсовой проект
Зачет 4 семестр
Экзамен

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 867.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета ТОИ ДВО РАН, протокол № 6 от «30» августа 2018 г.

Ученый секретарь
к.г.н.



Н.И. Савельева

Составитель: д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией нелинейных динамических систем С.В. Франц

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Ученого совета

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Ученый секретарь _____
подпись *И.О. Фамилия*

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Ученого совета

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Ученый секретарь _____
подпись *И.О. Фамилия*

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Гидродинамика» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Теоретическая физика» и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 867, учебный план подготовки аспирантов по профилю «Теоретическая физика».

Цель – подготовить аспирантов к научно-исследовательской деятельности по профилю теоретическая физика, к защите научно-квалификационной работы (диссертации) и преподаванию в учреждениях высшего профессионального образования.

Задачи:

- систематизировать знания по теории гидродинамики;
- на основании теоретической и практической подготовки аспирантов сформировать навыки к самостоятельной научной и педагогической деятельности.

Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины:

Универсальные компетенции:

Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области

истории и философии науки (УК-2).

Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

Общепрофессиональные компетенции:

Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области гидродинамики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

Профессиональные компетенции:

Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области теоретической физики (ПК-1).

Способность выдвигать и обосновывать новые гипотезы в области теоретической физики (ПК-4).

Способность обобщать и использовать результаты исследований для выявления новых явлений, закономерностей, законов и теоретических положений в области теоретической физики (ПК-5).

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения.

Знать:

- фундаментальные основы гидродинамики;
- современное состояние и перспективы развития исследований в гидродинамике;
- основные научные проблемы в гидродинамике.

Уметь:

- анализировать и обобщать полученную в ходе исследования гидродинамических моделей информацию;
- использовать компьютерные технологии и обрабатывать результаты натурных измерений, проводить их специальный анализ;

- формулировать логичные и обоснованные выводы из анализа собственных научных результатов и опубликованных материалов.

Владеть:

- современными методами и технологиями в гидродинамики;
- основными современными методами расчета объекта научного исследования, использующими передовые информационные технологии;
- навыками корректной постановки научного исследования и выявления артефактов эксперимента.

Интерактивные формы обучения составляют 108 часов лекционных занятий.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лекционные занятия – 108 час. / Самостоятельная работа – 36 час.

МОДУЛЬ 1. Введение в гидродинамику (4 час.)

Тема 1. Основные понятия и определения (4 час.)

Общие вопросы о пределах применимости приближения сплошной среды, связь с кинетическим описанием. Сжимаемая и несжимаемая жидкость. Кинематические характеристики безвихревого и вихревого движения.

Размерности физических величин. Поле скоростей. Линии тока и траектории частиц. Трубки и струйки тока. Плотность и давление. Теорема Бернулли (вид для несжимаемой и сжимаемой жидкости, применение теоремы к адиабатическому расширению).

Деформация жидкой частицы. Формулы Коши-Гельмгольца. Чистая деформация. Эллипсоид деформации. Кубическая деформация.

Гидродинамическое и гидростатическое давление. Равновесие плавающих тел.

МОДУЛЬ 2. Идеальная жидкость (24 час./8 час.)

Тема 1. Основные уравнения динамики идеальной жидкости (3 час.)

Силы массовые и поверхностные. Общее уравнение движение и уравнение движения для идеальной жидкости в форме Эйлера, Ламба и Лагранжа. Общая постановка задач гидродинамики. Случаи несжимаемой и сжимаемой жидкости, бароклинность и баротропность. Закон количества и моментов количеств движения. Уравнение энергии.

Тема 2. Простейшие случаи движения идеальной жидкости (4 час.)

Интегралы Бернулли и Коши. Установившееся безвихревое движение. Формула Торичелли. Действие мгновенных сил. Кинематическая характеристика безвихревого движения. Теорема В. Томсона.

Плоское безвихревое движение. Функции тока, связь функции тока с потенциалом скорости. Источники и стоки, дублеты, вихревые точки и вихреисточники.

Тема 3. Вихревое движение идеальной жидкости (6 час./2 час.)

Основные уравнения теории вихрей. Теорема Томсона, Лагранжа и Гельмгольца. Сохраняемость векторных линий. Уравнение Фридмана и Гельмгольца. Образование вихрей, теорема Бьеркнеса.

Определение поля скорости по заданному полю вихрей и полю расхождения скорости. Случай одной вихревой нити. Прямолинейная вихревая нить. Две прямолинейные вихревые нити. Движение системы вихрей. Круговая вихревая нить. Вихревой слой.

Вихревые цепочки Кармана. Одна и две вихревые цепочки. Устойчивость вихревых цепочек Кармана. Схема Кармана движения тела в жидкости с образованием вихрей.

Тема 4. Плоская задача о движении тела в идеальной жидкости (3 час. /2 час.)

Задачи Дирихле и Неймана. Движение кругового цилиндра. Нестационарное течение, вызываемое движущимся круговым цилиндром. Выражения для гидродинамических реакций при установившемся течение. Метод конформного отображения. Реакции по контуру. Парабола устойчивости.

Тема 5. Пространственная задача о движении тела в идеальной жидкости (4 час./2 час.)

Безвихревое движение. Движение шара, обтекание эллипсоида. Функция тока для осесимметричного течения. Метод источников и стоков. Движение твердого тела в безграничной жидкости. Расчет гидродинамических реакций при движении тела. Движения тела по инерции.

Тема 6. Волновое движение идеальной жидкости (4 час./2 час.)

Основные уравнения теории волн, различные типы волн.

Плоские волны. Стоячие и прогрессивные волны. Волны на конечной глубине жидкости и на поверхности раздела двух жидкостей. Трохоидальные волны, их свойства. Волны в сжимаемой жидкости.

Трехмерные волны. Корабельные волны. Стоячие колебания тяжелой

жидкости в сосуде. Колебания жидкости в прямоугольном сосуде и в круговом цилиндре.

Длинные волны в каналах постоянной глубины. Статическая и каналовая теория приливов. Волны во вращающейся атмосферной оболочке, центры действия атмосферы.

МОДУЛЬ 3. Вязкая жидкость (24 час./12 час.)

Тема 1. Основные уравнения движения вязкой жидкости (4 час.)

Понятие вязкой жидкости. Тензоры скоростей деформации и напряжений. Уравнение движения вязкой жидкости и различные его формы. Диссипация энергии. Обобщенные уравнения Гельмгольца. Закон подобия, число Рейнольдса. Уравнение притока тепла вязкой сжимаемой жидкости.

Тема 2. Точные решения уравнений движения вязкой жидкости (4 час. /4 час.)

Одномерное течение между двумя плоскими пластинами, течение Пуазейля. Стационарного и нестационарное одномерное течение. Стационарное течение жидкости между двумя цилиндрами, диффузия вихря, течение в диффузоре. Решение Гамеля. Одномерное движения вязкой сжимаемой жидкости.

Тема 3. Приближенные решения уравнений движения вязкой жидкости в случае малых чисел Рейнольдса (6 час./3 час.)

Плоское течение между двумя пластинами. Медленное вращение и движения сферы. Парадокс Стокса. Уточненное решение задачи о движении сферы. Движение цилиндра. Гидродинамическая теория смазки.

Тема 4. Приближенные решения уравнений движения вязкой жидкости в случае больших чисел Рейнольдса (10 час./5 час.)

Общая характеристика течений при больших числах Рейнольдса. Уравнения теории пограничного слоя. Приближенные методы теории пограничного слоя, метод Кочина-Лойцянского. Пограничный слой в сжимаемой жидкости, метод Дородницына. Основные уравнения теории исчезающей вязкости. Обтекание цилиндра и плоской пластинки.

МОДУЛЬ 4. Турбулентность (12 час./8 час.)

Тема 1. Турбулентность и неустойчивость (12 час./8 час.)

Устойчивость движения между двумя коаксиальными цилиндрами.

Устойчивость течения между пластинами и устойчивость в пограничном слое. Неустойчивость тангенциальных разрывов. Квазипериодическое движение и синхронизация частот. Странный аттрактор. Переход к турбулентности путем удвоения периодов.

Развитая турбулентность. Характеристики турбулентности. Основные уравнения Рейнольдса. Сглаживание. Турбулентная струя и след. Теорема Жуковского.

Добавочные напряжения и средние значения гидродинамических элементов, путь перемешивания и метод подобия.

МОДУЛЬ 5. Теплопроводность и диффузия в жидкости (6 час.)

Тема 1. Уравнения диффузии и переноса тепла (6 час.)

Теплопроводность в несжимаемой жидкости. Теплопроводность в неограниченной и ограниченной среде. Закон подобия для теплопередачи. Теплопередача в пограничном слое. Свободная конвекция. Конвективная неустойчивость неподвижной жидкости.

Уравнение гидродинамики для жидкой смеси. Коэффициенты диффузии и термодиффузии. Диффузия взвешенных в жидкости частиц.

МОДУЛЬ 6. Динамика вихревых структур в стратифицированной вращающейся жидкости (38 час./8 час.)

Тема 1. Введение (14 час.)

Постановка задачи в рамках двухслойной квазигеострофической модели. Алгоритм двухслойной версии метода контурной динамики, используемый для решения задач вихревой динамики. Схема линейного анализа устойчивости распределенного вихря. Структура простейших внешних полей, удовлетворяющих условию нулевого распределения потенциальной завихренности. Уравнения движения для предельного случая дискретных вихрей. Применение трилинейных координат для

анализа движения систем из трех-четырех вихрей. Постановка задачи для трехслойной модели.

Тема 2. Динамика дискретных вихрей (12 час./4 час.)

Основные свойства системы бароклинных вихрей. Результаты аналитическое и численное исследования систем вихрей. Класс движений осесимметричных вихревых структур во внешнем деформационном поле. Возможности возникновения и формирования хаотических режимов. Уравнения динамики простейших стационарных вихрей в трехслойной жидкости.

Тема 3. Динамика распределенных вихрей (12 час./4 час.)

Устойчивость хетонов относительно малых и конечных возмущений. Особенности взаимодействия двухслойных вихрей, условия разделения и слияния вихревых пятен. Влияние идеализированных форм рельефа дна на движение хетона. Результаты исследования трехслойной квазигеострофической модели, особенности динамики внутритермоклинных вихрей. Роль бароклинности в формировании кинематической и термоклинной структуры океана.

II. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Фонд оценочных средств прилагается.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Биркгоф Г. Гидродинамика. Методы. Факты. Подobie. М.: Гос. изд-во иностранной литературы, 1963. 245 с.
2. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973. 778 с.
3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. М.: Физматлит, 1963. Ч. 1, 583 с. Ч. 2, 728 с.

4. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1973. 417 с.
5. Ламб Г. Гидродинамика. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1947. 929 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Физматлит, 2003. 731 с.
7. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика М.: Мир, 1964. 660 с.
8. Sokolovskiy M. A. Dynamics of Vortex Structures in a Stratified Rotating Fluid / M.A. Sokolovskiy, Jacques Verron. Springer International Publishing Switzerland, 2014. 392 p.

Дополнительная литература

1. Зайчик Л.И., Алипченков В.М. Статистические модели движения частиц в турбулентной жидкости. М.: ФМЛ, 2007. 310 с.
2. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. Киев: Техника, 1987. 175 с.
3. Колесниченко А.В., Маров М.Я. Турбулентность многокомпонентных сред. М.: Наука, 1998. 337 с.
4. Крайнов В.П. Нелинейные задачи гидродинамики. Учеб. пособие. М.: МФТИ, 1996. 92 с.
5. Пуанкаре А. Теория вихрей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 160 с.