

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур
Российской академии наук**

Принято на Ученом совете ОИВТ РАН
Протокол № 8 от 23.12.2022

«Утверждаю»

Директор ОИВТ РАН

 академик Петров О.Ф.

« 23 » 2022 год

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

по физико-математическим и техническим наукам

Направление подготовки **01.06.01 «Математика и механика»**

Москва

2022 год

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика сплошной среды, гидромеханика, газовая динамика, термодинамика, электродинамика.

Программа составлена на основе паспорта соответствующей научной специальности номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021г. №118.

1. Гидростатика (равновесие жидкостей и газов).

Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.

2. Ламинарные и турбулентные течения.

Уравнения движения идеальной жидкости. Уравнения движения вязкой жидкости. Гипотезы Стокса и закон трения Ньютона. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости. Течение по трубе. Движение жидкости между вращающимися цилиндрами. Закон подобия. Течение при малых числах Рейнольдса. Ламинарный след. Вязкость суспензий. Точные решения уравнений движения вязкой жидкости. Колебательное движение в вязкой жидкости. Затухание гравитационных волн. Квазипериодическое движение и синхронизация частот. Странный аттрактор. Переход к турбулентности путем удвоения периодов. Развитая турбулентность. Понятие турбулентного спектра. Прямой и обратный каскад переноса энергии в турбулентном течении. Колмогоровский масштаб. Корреляционные функции скоростей. Турбулентная область и явление отрыва. Турбулентная струя. Турбулентный след. Теорема Жуковского.

3. Течения сжимаемых сред и ударные волны.

Распространение возмущений в потоке сжимаемого газа. Стационарный поток сжимаемого газа. Поверхности разрыва. Ударная адиабата. Ударные волны слабой интенсивности. Направление изменения величин в ударной волне. Эволюционность ударных волн. Ударные волны в политропном газе. Гофрировочная неустойчивость ударных волн. Распространение ударной волны по трубе. Косая ударная волна. Ширина ударных волн. Ударные волны в релаксирующей среде. Изотермический скачок. Слабые разрывы.

Истечение газа через сопло. Вязкое движение сжимаемого газа по трубе. Одномерное автомодельное движение. Разрывы в начальных условиях. Одномерные бегущие волны. Образование разрывов в звуковой волне. Характеристики. Инварианты Римана. Произвольное одномерное движение сжимаемого газа. Задача о сильном взрыве. Сходящаяся сферическая ударная волна. Задача Рэлея о схлопывании пузырька. Теория «мелкой воды».

Волна разрежения. Типы пересечений поверхностей разрыва. Пересечение ударных волн с твердой поверхностью. Сверхзвуковое обтекание угла. Обтекание конического острия.

Потенциальное движение сжимаемого газа. Стационарные простые волны. Уравнение Чаплыгина (общая задача о двумерном стационарном движении сжимаемого газа). Характеристики плоского стационарного течения. Уравнение Эйлера-Трикоми. Переход через звуковую скорость. Решения уравнения Эйлера-Трикоми вблизи неособых точек звуковой поверхности. Обтекание со звуковой скоростью. Отражение слабого разрыва от звуковой линии.

Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.

Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики.

Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля.

Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.

Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы.

Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование.

Задача о структуре сильного разрыва.

Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.

Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик. Течение Прандтля-Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной.

4. Динамика разреженных газов и молекулярная газодинамика.

Средняя длина свободного пробега. Эффективное сечение. Ослабление пучка молекул в газах. Вязкость и теплопроводность газов. Самодиффузия в газах. Связь диффузии с подвижностью частицы. Формула Эйнштейна-Смолуховского. Броуновская диффузия в газах. Явления в разреженных газах. Молекулярное течение ультраразреженного газа через прямолинейную трубу. Молекулярная газодинамика, моделирование.

5. Течения многофазных сред (газожидкостные потоки, пузырьковые среды, газовзвеси, аэрозоли, суспензии и эмульсии).

Теория многоскоростного континуума, уравнения сохранения для составляющих фаз. Диффузионное приближение для гомогенных смесей. Межфазный обмен импульсом и энергией. Межфазное взаимодействие в газовзвеси. Уравнения на скачке в газовзвеси. Время скоростной межфазной релаксации. Тензор напряжений в пузырьковой смеси. Схемы вязкоупругой жидкости и идеальной сжимаемой жидкости для описания пузырьковых

смесей. Механика процессов около дисперсных частиц, капель и пузырьков. Обтекание твердой сферы, капли и пузырька, дробление. Тепло- и массообмен около капли, частицы и пузырька. Акустическая теория распространения слабых возмущений в газозвесах и парокапельных средах. Линеаризация уравнения движения и состояния. Дисперсионные кривые. Зависимость фазовой скорости звука и декремента затухания от частоты для пароводяной капельной смеси. Структура стационарных ударных волн в газозвесах и парокапельных средах.

6. Течение жидкостей и газов в пористых средах.

Связь диффузии с подвижностью частицы. Концентрационная диффузия в газах. Броуновская диффузия в газах. Эффект Кнудсена.

7. Физико-химическая гидромеханика (течения с химическими реакциями, горением, детонацией, фазовыми переходами, при наличии излучения и др.).

Медленное горение. Модель теплового распространения пламени Зельдовича и Франк-Каменецкого. Нормальная скорость распространения пламени. Пределы распространения пламени. Гидродинамическая неустойчивость пламени. Диффузионно-тепловая неустойчивость пламени. Термодинамика процессов горения. Адиабатическая температура пламени. Цепное самовоспламенение на примере реакции окисления водорода. Тепловое самовоспламенение, адиабатический тепловой взрыв. Теория теплового взрыва по Н.Н. Семенову. Период индукции. Задача Колмогорова, Петровского, Пискунова. Детонация. Модель детонации Чепмена-Жуге. Модель детонации Зельдовича-Неймана-Дёринга. Ускорение пламени и переход от медленного горения к детонации. Конденсационные скачки.

8. Аэродинамика и теплообмен летательных аппаратов.

Образование ударных волн при сверхзвуковом обтекании тел. Сверхзвуковое обтекание заостренного тела. Дозвуковое обтекание тонкого крыла. Сверхзвуковое обтекание крыла. Околозвуковой закон подобия. Гиперзвуковой закон подобия.

Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики. Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского. Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой. Нестационарное обтекание профилей.

Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри. Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке.

Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха. Несущая линия и несущая поверхность.

Теплопередача в пограничном слое.

9. Гидромеханика плавающих тел.

Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.

10. Пограничные слои, слои смешения, течения в следе.

Ламинарный пограничный слой. Движение вблизи линии отрыва. Устойчивость движения в ламинарном пограничном слое. Волны Толмина-Шлихтинга в двумерном пограничном слое. Сценарии перехода к турбулентности при различном уровне внешней турбулентности потока.

Турбулентный пограничный слой. Логарифмический профиль скоростей. Вязкий и инерционный масштабы турбулентного пограничного слоя. Турбулентное течение в трубах. Турбулентный пограничный слой. Кризис сопротивления. Хорошо обтекаемые тела. Индуктивное сопротивление. Подъемная сила тонкого крыла.

Турбулентный след. Ламинарный след.

Слои смещения. Явление отрыва пограничного слоя.

11. Струйные течения и кавитация.

Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др.. Структура стационарных сверхзвуковых струй газа. Течения расширения при дифракции ударной волны на плоском выпуклом угле. Потери полного давления в течения расширения. Дифракция ударной волны при выходе из канала круглого сечения в свободное пространство с противодавлением. Обтекание криволинейных препятствий. Метод Леви-Чивиты, метод Седова. Интегро-дифференциальные уравнения Вилла и Некрасова. Кавитация. Кавитационное обтекание пластинки, клина, кругового цилиндра. Линейная теория кавитационного обтекания. Струйные течения сжимаемой жидкости. Уравнения Чаплыгина для плоского установившегося течения газа. Приближенный метода Чаплыгина.

12. Гидродинамическая устойчивость.

Устойчивость стационарного движения жидкости. Устойчивость вращательного движения жидкости. Неустойчивость тангенциальных разрывов: неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, Рэлея-Тейлора и Ландау-Дарье. Неустойчивость Саффмана-Тейлора.

Групповая и фазовая скорость волн в сдвиговых течениях. Понятие об абсолютно и конвективно неустойчивых течениях. Неустойчивость двумерного пограничного слоя.

13. Линейные и нелинейные волны в жидкостях и газах.

Уравнения для волн на воде. Вариационная формулировка. Линеаризованная формулировка. Линейные волны постоянной глубины. Поведение решения задачи Коши вблизи фронта волнового пакета. Волны на поверхности раздела между двумя жидкостями. Поверхностное натяжение. Волны на поверхности стационарного потока: одномерные гравитационные волны, одномерные волны с учетом поверхностного натяжения, корабельные волны. Нелинейная теория, уравнения мелкой воды, длинные волны. Задача о разрушении плотины, условия на боре. Уравнение Korteweg – de Vries. Уравнение Буссинеска. Уединенные и кноидальные волны. Волны Стокса, случай произвольной глубины. Опрокидывание и заострение волн. Модель структуры боры. Волны в среде с релаксацией.

14. Теплоперенос в газах и жидкостях.

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.

Общее уравнение переноса тепла. Теплопроводность в несжимаемой жидкости. Теплопроводность в неограниченной среде. Теплопроводность в ограниченной среде. Закон подобия для теплопередачи. Теплопередача в пограничном слое. Нагревание тела в движущейся жидкости. Свободная конвекция. Конвективная неустойчивость неподвижной жидкости. Уравнения гидродинамики для жидкой смеси. Коэффициенты диффузии и термодиффузии. Диффузия взвешенных в жидкости частиц.

Уравнение Бернулли. Поток энергии. Поток импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальное движение.

15. Гидромеханика сред, взаимодействующих с гравитационным и электромагнитным полями. Динамика плазмы.

Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова-Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.

Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.

16. Экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах.

Понятие экспериментального метода. Прямые и косвенные измерения. Динамическое измерение. Контактные и бесконтактные методы измерений. Системы измерений. Погрешности измерений. Масштабирование физических процессов и явлений. π -теорема. Физическое подобие. Критерии подобия. Автомодельное течение. Методы контроля давлений в процессе эксперимента. Единицы измерения давления. Вакуум, сверхвысокий вакуум. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры. Пределы измерения. Измерения температуры контактными и бесконтактными методами. Разрешающая способность оптических приборов. Фотохронографический режим регистрации динамических процессов. Лазер как инструмент экспериментальных исследований. Приемники электромагнитного излучения: обобщенный квантовый выход. Электронно-оптические преобразователи. Фотоэлектронный. ПЗС-камеры. Источники и детекторы электромагнитного излучения. Виды спектроскопии. Спектральные приборы. Методы спектрального разложения. Синхротронное излучение. Интерферометрия.

Основные методы аэрофизического эксперимента. Методы измерения давления. Трубки Пито и Прандтля. Методы измерения скорости потока: PIV,

ЛДИС, термоанемометрия. Методы измерения температуры потока. Датчики теплового потока, баро и термочувствительные покрытия. Измерение поверхностного трения. Методы измерения плотности потока теневой метод, BOS.

17. Точные, асимптотические, приближенные аналитические, численные и комбинированные методы исследования уравнений континуальных и кинетических моделей однородных и многофазных сред.

Основные методы решения уравнений в частных производных. Разностные схемы и схемы метода конечных объемов для гиперболических уравнений. Явные и неявные схемы типа Рунге-Кутты для гиперболических уравнений. Алгоритмы решения параболических уравнений. Методы расщепления и приближенной факторизации. Метод линеаризации для решения нелинейных задач. Методы решения стационарных задач мат. физики. Эллиптические краевые задачи. Основные итерационные алгоритмы решения стационарных задач: простейший итерационный метод, метод верхней релаксации, градиентные итерационные методы.

18. Разработка математических методов и моделей гидромеханики.

Уравнения осредненного турбулентного движения. Основные методы расчета турбулентных течений. RANS, LES, DNS. Подходы к описанию спектра турбулентности, k- ϵ , k- ω модели.

19. Влияние поверхностных сил на динамику жидкости и газа. Смачивание и растекание.

Поверхностное натяжение. Термодинамика поверхностного натяжения. Краевые углы. Смачивание и несмачивание. Разность давлений по разные стороны изогнутой поверхности жидкости. Формула Лапласа. Капиллярно-гравитационные волны малой амплитуды.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Гидродинамика. - М.: Физматлит, 2015..
2. Черняк В.Г., Суетин П.Е., Механика сплошных сред. – М.: Физматлит, 2006.
3. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П., Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. – М.: Физматлит, 2008.
4. Фалькович Г. Современная гидродинамика. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2014.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Учеб.пособие: Для вузов. В 5 т. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. – 5-ое изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
6. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, т. II, изд. 5, М.: Наука, 1994.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 5. Н.: Наука, 1978.
8. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.

СОГЛАСОВАНО:

Ученый секретарь ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.



Амиров Р.Х.

Заведующая аспирантурой, к.ф.-м.н.



Мартынова И.А.