

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Полярный геофизический институт»  
(ПГИ)

УТВЕРЖДАЮ  
Врио директора ПГИ  
д.ф.-м.н. Б.В. Козелов

---

«    » октября 2016г.

Протокол Ученого совета  
№ 6 от « 30 » сентября 2016 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
кандидатского экзамена по специальности  
**01.02.05 «Механика жидкостей, газа и плазмы»**  
по физико-математическим наукам

Апатиты  
2016

## **Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика сплошной среды, гидромеханика, газовая динамика, термодинамика, электродинамика, магнитная гидродинамика, кинетическая теория газов и плазмы.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по математике и механике при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Московского физико-технического института (государственного университета), Института прикладной механики Уральского отделения РАН и адаптирована к направлениям исследований Полярного геофизического института КНЦ РАН.

### **1. Вводные положения**

Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.

Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.

Основные исторические этапы в развитии механики жидкости, газа и плазмы.

### **2. Кинематика сплошных сред**

Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.

Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.

Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды.

Кинематические свойства вихрей.

### **3. Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики**

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

Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.

Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.

Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла.

Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.

Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура. Некомпенсированное тепло и производство энтропии. Неравенство диссипации, тождество Гиббса. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Понятие о принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.

#### **4. Модели жидких и газообразных сред**

Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

Интегралы Бернулли и Коши—Лагранжа. Явление кавитации.

Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса.

Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.

#### **5. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы**

Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.

Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.

#### **6. Гидростатика**

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

#### **7. Движение идеальной несжимаемой жидкости**

Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях. Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости.

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

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.

Постановка задачи Коши—Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами. Теория мелкой воды. Уравнения Буссинеска и Кортвега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон.

## **8. Движение вязкой жидкости.**

Теория пограничного слоя. Турбулентность

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля.

Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.

Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.

Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.

Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе.

## **9. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика**

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

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

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.

## **10. Электромагнитные явления в жидкостях и газах**

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.

Основные закономерности поведения магнитных силовых трубок. Основные закономерности поведения токового слоя.

## **11. Физическое подобие, моделирование**

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

## **12. Кинетическая теория газов и плазмы**

Определение понятия плазмы. Радиус Дебая. Колебания электронов плазмы. Движение отдельных частиц в плазме. Условие замагниченности электронов и ионов.

Динамика упругого взаимодействия двух частиц. Рассеяние в кулоновском поле.

Функция распределения и потоки частиц. Уравнение Больцмана. Вывод столкновительных членов. Н-теорема Больцмана. Кинетическое уравнение Власова и уравнения самосогласованного поля. Уравнение Больцмана для смеси газов.

Уравнения переноса в многокомпонентных газах. Интегралы столкновений. Основные положения метода Чепмена-Энскога и метода моментов. Условия макроскопичности среды. Коэффициенты вязкости и теплопроводности. Уравнения гидродинамики.

## **Основная литература**

Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II. М.: Физматгиз, 1963.

Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.

Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд. М.: Наука, 1987.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. 3-е изд. М.: Наука, 1986.

Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 5-е изд. М.: Наука, 1978.

Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.

Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: Физматгиз, 1962.

Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд-во физ.-тех. лит-ры, 1955.

Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.

Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.

Чепмен С., Каулинг Т. Математическая теория неоднородных газов. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960.

Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Наука, 1971.

### **Дополнительная литература**

Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. 3-е изд. М.: Наука, 1980.

Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.

Механика сплошных сред в задачах. Т. 1, 2 / Г.Я. Галин, А.Н. Голубятников, Я.А. Каменярж и др. М.: Московский лицей, 1996.

Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. Екатеринбург: Изд-во Ур. ОРАН, 2001.

Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.

Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.

Бонд Дж., Уотсон К., Уэлч Дж. Физическая теория газовой динамики. М.: Мир, 1968.

Митчнер М., Кругер Ч. Частично ионизованные газы. М.: Мир, 1976.

Прист Э.Р. Солнечная магнитогидродинамика. М.: Мир, 1985.