

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**"Казанский (Приволжский) федеральный университет"**

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –  
проректор по научной деятельности

  
Д.А. Таурский

« 30 \_\_\_\_\_ 2023 г.



**Программа вступительного испытания по специальности**

**Уровень высшего образования:** подготовка кадров высшей квалификации

**Тип образовательной программы:** программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

**Научная специальность:** 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

**Форма обучения:** очная

### **Общие указания**

Вступительные испытания в аспирантуру по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы охватывают стандартные разделы университетских курсов по математическим дисциплинам, механике сплошных сред и дополнительные разделы дисциплин по аэрогидромеханике. Вопросы и структура билетов для вступительного испытания приведены ниже.

### **Порядок проведения вступительных испытаний**

Вступительное испытание проводится в форме экзамена на основе билетов. В каждом экзаменационном билете по 2 вопроса. Экзамен проходит в письменной форме. Подготовка к ответу составляет 1 академический час (60 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Задания оцениваются от 0 до 100 баллов в зависимости от полноты и правильности ответов.

### **Критерии оценивания**

Оценка поступающему за письменную работу выставляется в соответствии со следующими критериями.

#### **Отлично (80-100 баллов)**

Поступающий обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

#### **Хорошо (60-79 баллов)**

Поступающий обнаружил полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

#### **Удовлетворительно (40-59 баллов)**

Поступающий обнаружил знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

#### **Неудовлетворительно (менее 39 баллов)**

Поступающий обнаружил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки в выполнении тестовых заданий и не способен продолжить обучение по физике.

## **Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы**

### **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.

### **ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ**

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. 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. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура. Некомпенсированное тепло и производство энтропии. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.

### **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. 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. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда.

### **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. Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа. Эфроса и др. Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам.

## ДВИЖЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ. ТЕОРИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ. ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Диффузия вихря. 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. Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.

## 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. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавалья. 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. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.

## 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.

**Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы  
вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности**

**1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы**

**ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II. – М.: Физматгиз, 1963. – 728 с.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. – М.: Наука, 1994. – 530 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. 3-е изд. – М.: Наука, 1986. – 734 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Дрофа, 2003. – 846 с.
5. Черный Г.Г. Газовая динамика. – М.: Наука, 1988. – 425 с.
6. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – М.: Изд-во РХД, 2000. – 575 с.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. Изд.2 – М.: Наука, 1966. – 448 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 304 с.
3. Механика сплошных сред в задачах. Т. 1,2/ Г.Я. Галин, А.Н. Голубятников, Я.А. Каменярж и др. – М.: Московский лицей, 1996. – 396 с. (т.1), 394 с. (т.2).
4. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 397 с.
5. Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. – 160 с.
6. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. – М.: Мир, 1977. – 638 с.

Программа вступительного испытания в аспирантуру составлена в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы.