

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

---

**Утверждена**

Ученым советом ФИЦ ИПМ

им. М.В. Келдыша РАН,

протокол № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Заместитель директора

\_\_\_\_\_ А.Л. Афендилов

(подпись, расшифровка подписи)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

## **УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Динамика и кинетическая теория газов и плазмы

### **Направление подготовки**

01.06.01 – Математика и Механика

### **Профили (направленности программы)**

01.02.05– «Механика жидкости, газа и плазмы»

### **Квалификация выпускника**

Исследователь. Преподаватель-исследователь

### **Форма обучения**

очная

Москва, 2018

**Направление подготовки:** 01.06.01 — Математика и Механика

**Профиль (направленность программы):** 01.02.05 – «Механика жидкости , газа и плазмы»

**Дисциплина:** Динамика и кинетическая теория газов и плазмы.

**Форма обучения:** очная

Рабочая программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и Механика», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 866, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 г. N 33837, и Программы-минимум кандидатского экзамена по специальности, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 октября 2007 года № 274 (зарегистрировано Минюстом Российской Федерации 19 октября 2007 года № 10363).

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА**

Ученым советом ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, протокол № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ИСПОЛНИТЕЛЬ** (разработчик программ):

Шильков А.В., старший научный сотрудник ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

Заведующий аспирантурой \_\_\_\_\_ / Меньшов И.С. /

## Оглавление

АННОТАЦИЯ .....	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	5
3.1. Структура дисциплины.....	5
3.2. Содержание разделов дисциплины .....	6
3.3. Семинарские занятия .....	7
4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ .....	8
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	11
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	11

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Динамика и кинетическая теория газов и плазмы» реализуется в рамках Блока 1 Основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального исследовательского центра Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН) по направлению подготовки 01.06.01 — математика и механика».

Рабочая программа разработана с учетом требований ФГОС ВО по направлению подготовки 01.06.01 — математика и механика», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 866, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 г. № 33837, и Программы-минимум кандидатского экзамена по специальности, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 8 октября 2007 года № 274 (зарегистрировано Минюстом Российской Федерации 19 октября 2007 года № 10363).

Основным источником материалов для формирования содержания программы являются: материалы конференций, симпозиумов, семинаров, Интернет-ресурсы, научные издания и монографические исследования и публикации.

Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану составляет 2 зач.ед. (72 часа), из них лекций – 4 часа, семинарских занятий – 10 часов, практических занятий – 0 часов и самостоятельной работы – 22 часа. Дисциплина реализуется на 2-м курсе, в 3-м семестре, продолжительность обучения – 1 семестр.

Текущая аттестация проводится не менее 2 раз в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренные настоящей программой.

Промежуточная оценка знания осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме экзамена.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цели и задачи дисциплины «Динамика и кинетическая теория газов и плазмы»**

**Цель:** освоение фундаментальных знаний и компетенций, которые позволят представлять и разрабатывать методами математического и численного анализа динамики и кинетической теории газов и плазмы а также владеть математическим аппаратом, позволяющим выбрать наиболее правильную модель, аналитически исследовать и оценивать её свойства.

**Задачи:**

- освоить основы динамики газов и кинетической теории плазмы;
- практическое освоение накопленных по дисциплине знаний при использовании математического и численного анализа;
- стимулирование к самостоятельной деятельности по освоению дисциплины.

### 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Динамика и кинетическая теория газов и плазмы» направлен на формирование компетенций или отдельных их элементов в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 01.06.01 — математика и механика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 875, зарегистрировано в Минюсте Российской Федерации 20 августа 2014 г. № 33685

**а) универсальные (УК):** не предусмотрено

**б) общепрофессиональных (ОПК):** не предусмотрено.

**в) профессиональных (ПК):** Способность исследовать процессы и явления, сопровождающие течения высокотемпературных газов и плазмы при механических, тепловых, электромагнитных и прочих воздействиях. (ПК-3).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:**

- основные понятия численных методов;
- основные понятия динамики газов
- основные понятия неравновесного переноса частиц.

**Уметь:**

- использовать основные понятия численных методов газовой динамики газовой динамики;
- использовать полученные теоретические знания при решении практических задач.

**Владеть:**

- основными методами и подходами в исследовании процессов, протекающих в динамике и кинетической теории газов и плазмы.

**Приобрести опыт:**

- построения моделей газовой динамики с помощью методов математического анализа;
- проведения численных расчетов газовой динамики.

## СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Структура дисциплины

#### Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	общая	
	зач.ед.	час.
<b>ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ</b> по Учебному плану	<b>2</b>	<b>72</b>
Лекции (Л)		<b>4</b>
Практические занятия (ПЗ)	-	-
Семинары (С)		<b>10</b>
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины		<b>22</b>
<b>Вид контроля: экзамен</b>		<b>36</b>

### 3.2. Содержание разделов дисциплины

#### Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущей аттестации
1.	Введение	<p>Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.</p> <p>Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.</p> <p>Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.</p>	О, ДЗ
2.	Кинематика сплошных сред	<p>Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.</p> <p>Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.</p> <p>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.</p>	О, ДЗ
3.	Основные понятия и уравнения динамики	<p>Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.</p> <p>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.</p> <p>Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.</p>	О, ДЗ

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.	О, ДЗ
----	-----------------------------------	---	-------

**Примечание:** О – опрос, Д – дискуссия (диспут, круглый стол, мозговой штурм, ролевая игра), ДЗ – домашнее задание (эссе и пр.). Формы контроля не являются жесткими и могут быть заменены преподавателем на другую форму контроля в зависимости от контингента обучающихся. Кроме того, на занятиях семинарских может проводиться работа с нормативными документами, изданиями средств информации и прочее, что также оценивается преподавателем.

### 3.3. Лекционные занятия

№ занятия	№ Раздела	Краткое содержание темы занятия	Кол-во часов
1.	1,2	Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных 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.	2
2.	3,4	Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей. 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.	2
<b>ВСЕГО</b>			<b>4</b>

### 3.4. Семинарские занятия

№ занятия	№ Раздела (темы)	Краткое содержание темы занятия	Кол-во часов
3.	1	Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.	2
4.	2	Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред. Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока,	3

		критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды. Кинематические свойства вихрей.	
5.	3	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.	2
6.	4	Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса.	3
<b>ВСЕГО</b>			<b>10</b>

#### **4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**Текущая аттестация аспирантов.** Текущая аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины см. ниже.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимых в рамках семинаров, практических занятий и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по 4-х бальной системе (5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно, 2 – неудовлетворительно).

##### **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

<b>Форма контроля знаний</b>	<b>Вид аттестации</b>	<b>Примечание</b>
проверочные работы в течение всего курса	текущая	Ниже приведены перечни рекомендуемых задач и контрольных вопросов
экзамен	итоговая	



Примерный перечень рекомендуемых контрольных вопросов для оценки текущего уровня успеваемости студента:

1. Понятие сплошной среды.
2. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.
3. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы.
4. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.
5. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.
6. Системы отсчета и системы координат.
7. Лагранжевы и эйлеровы координаты.
8. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.
9. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.
10. 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 неустойчивое движение среды.
11. Кинематические свойства вихрей.
12. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии.
13. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.
14. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.
15. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды.
16. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.
17. Работа внутренних поверхностных сил.
18. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.
19. Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах.
20. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия.
21. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла.
22. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.
23. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей.

24. Начальные и граничные условия.
25. Интегралы Бернулли и Коши—Лагранжа.
26. Явление кавитации .
27. Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях.
28. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса.

### **Список вопросов к экзамену.**

1. Системы отсчета и системы координат.
2. Лагранжевы и эйлеровы координаты.
3. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета ньютоновской механике.
4. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.
5. 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 неуставившееся движение среды.
6. Кинематические свойства вихрей.
7. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа.
8. Условие несжимаемости.
9. Уравнения неразрывности в форме Эйлера.
10. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.
11. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды.
12. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.
13. Работа внутренних поверхностных сил.
14. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах.
15. Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах.
16. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия.
17. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла.
18. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла.

**Итоговая аттестация аспирантов.** Итоговая аттестация аспирантов по дисциплине проводится в соответствии с локальным актом ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Итоговая аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачета в период зачетно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса по приказу (распоряжению заместителю директора по научной работе). Обучающийся допускается к зачету в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по 4-х бальной системе (5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно, 2 – неудовлетворительно).

### Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме экзамена

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
2, неудовлетворительно	Отсутствие знаний
3, удовлетворительно	Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач
4, хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных
5, отлично	Сформированные систематические знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *Основная литература*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Москва, Наука, 1986
2. Берд Г.А. Молекулярная газовая динамика. Москва, 1981
3. Самарский А.А. Теория разностных схем. Москва, 1987
4. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. Москва, 1980

### *Дополнительная литература и Интернет-ресурсы*

1. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика т.10. Москва, Физматлит, 2002
2. Калиткин Н.Н. Численные методы. М., Наука, 1978
3. Шеретов Ю.В. Динамика сплошных сред при пространственно—временном осреднении. М.—Ижевск:НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009

4. Шеретов Ю.В. Математические модели гидродинамики. Учебное пособие. Тверь, Тверской гос. Университет, 2004
5. Елизарова Т.Г. Квазигазодинамические уравнения и методы расчета вязких течений. Москва, Научный мир, 2007 , <http://elizarova.imamod.ru/>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для обеспечения интерактивных методов обучения для чтения лекций требуется аудитория с мультимедиа (возможен вариант с интерактивной доской).

Для проведения дискуссий и круглых столов, возможно, использование аудиторий со специальным расположением столов и стульев.

**ИСПОЛНИТЕЛИ** (разработчики программы):

Шильков А.В. , ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.