

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

---

**Утверждена**  
Ученым советом  
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,  
протокол № 14-22 от «10» ноября 2022 г.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

## **УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Радиационная газовая динамика

### **Научная специальность**

1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

### **Форма обучения**

очная

Москва, 2022

**Научная специальность: 1.1.9 – «Механика жидкости , газа и плазмы»**

**Дисциплина:** Радиационная газовая динамика.

**Форма обучения:** очная

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА**

Ученым советом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,  
протокол № 14/22 от «10» ноября 2022 г.

**ИСПОЛНИТЕЛЬ** (разработчик программ):

Шильков А.В., к.ф.-м.н., 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 .....	5
3.3. Семинарские занятия .....	7
4. ТЕКУЩАЯ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.....	8
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	10
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	10

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Радиационная газовая динамика» реализуется в рамках Блока «Образовательный компонент» основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального исследовательского центра «Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН).

Рабочая программа разработана и составлена на основании Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре к условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), в соответствии с учебными планами подготовки аспирантов в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН по научной специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

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 – 58 часа. Дисциплина реализуется на 1-м курсе, в 1-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 зачета.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Цели и задачи дисциплины «Радиационная газовая динамика»

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

#### Задачи:

- освоить основы радиационной газовой динамики;
- 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 «Радиационная газовая динамика» направлен на формирование определённых умений, знаний, компетенций.

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

**б) общепрофессиональных (ОПК):** Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1)

**в) профессиональных (ПК):** способность построения и исследования математических моделей для описания параметров потоков движущихся сред в широком диапазоне условий (ПК-1), способность интерпретировать экспериментальные данные с целью прогнозирования и контроля природных явлений и технологических процессов (ПК-2).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

#### Знать:

- основные понятия радиационной газовой динамики;

- корректную постановку задач и методы их решения в области радиационной газовой динамики;  
**Уметь:**
- использовать основные понятия радиационной газовой динамики;
- использовать полученные теоретические знания при решении и практических задач.  
**Владеть:**
- основными методами и подходами в исследовании процессов, протекающих в радиационной газовой динамике.  
**Приобрести опыт:**
- построения моделей радиационной газовой динамики с помощью методов математического анализа;
- проведения численных расчетов радиационной 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>58</b>
<i>Вид контроля: зачет</i>		

### 3.2. Содержание разделов дисциплины

#### Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущей аттестации
1.	Понятие радиационной газовой динамики	Радиационная газовая динамика как раздел механики сплошной среды. Примеры течений излучающего газа (метеорологические явления; движения газа в атмосферах звезд и в межзвездной среде; полеты с большими скоростями в плотных слоях атмосфер планет; взаимодействие лазерного излучения с веществом).	О, ДЗ
2.	Поле излучения	Излучение как совокупность электромагнитных волн, распространяющихся в вакууме или в материальной среде. Квантовый подход к описанию поля излучения. Энергия и импульс фотона. Функция распределения квантов. Вывод уравнения для функции распределения. Поле излучения. Плотность энергии излучения. Интенсивность излучения.	О, ДЗ

		Вектор плотности потока энергии излучения. Тензор плотности потока импульса излучения. Уравнение переноса излучения. Коэффициенты поглощения, излучения, рассеяния. Приток энергии к среде в результате её взаимодействия с излучением.	
3.	Элементарные процессы излучения	Элементарные процессы излучения, поглощения и рассеяния света в газах. Связанно-связанные, свободно-связанные, свободно-связанные переходы электронов в атомных системах. Понятие сечения поглощения и излучения квантов. Характерные величины сечений фотопроцессов. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа. Формулы Рэлея-Джинса и Планка.	О, ДЗ
4.	Решение уравнения переноса излучения	Формальное решение уравнения переноса излучения. Понятие об оптической толщине слоя газа. Задача об установлении термодинамического равновесия между излучением и веществом. Уравнение переноса излучения в задачах с различной геометрией (плоско-параллельный слой, сферически-симметричные и осесимметричные задачи). Излучение плоского слоя. Эффективная или яркостная температура поверхности тела, цветовая температура.	О, ДЗ
5.	Приближенные методы	Вывод уравнений радиационной газовой динамики в нерелятивистском приближении. Приближенные методы описания переноса излучения. Модель "серого" газа. Диффузионное приближение. Приближение «вперед-назад». Локальное термодинамическое равновесие и приближение лучистой теплопроводности.	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.	1,2,3	<i>Радиационная газовая динамика как раздел механики сплошной среды. Поле излучения. Плотность энергии излучения. Интенсивность излучения. Элементарные процессы излучения, поглощения и рассеяния</i>	2

		света в газах.	
2.	4,5	Задача об установлении термодинамического равновесия между излучением и веществом. Уравнение переноса излучения в задачах с различной геометрией (плоско-параллельный слой, сферически-симметричные и осесимметричные задачи). Вывод уравнений радиационной газовой динамики в нерелятивистском приближении.	2
<b>ВСЕГО</b>			<b>4</b>

### 3.4. Семинарские занятия

№ занятия	№ Раздела (темы)	Краткое содержание темы занятия	Кол-во часов
3.	1	Примеры течений излучающего газа (метеорологические явления; движения газа в атмосферах звезд и в межзвездной среде; полеты с большими скоростями в плотных слоях атмосфер планет; взаимодействие лазерного излучения с веществом).	2
4.	2,3	Коэффициенты поглощения, излучения, рассеяния. Приток энергии к среде в результате её взаимодействия с излучением. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа. Формулы Рэлея-Джинса и Планка.	2
5.	4	Уравнение переноса излучения в задачах с различной геометрией (плоско-параллельный слой, сферически-симметричные и осесимметричные задачи).	2
6.	5	Приближение «вперед-назад». Локальное термодинамическое равновесие и приближение лучистой теплопроводности.	2
<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 ИПМ им. М.В. Келдыша РАН - Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов 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 зачет, незачет.

**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 перечени рекомендуемых задач и контрольных вопросов
зачет	итоговая	

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

1. Движение газа в атмосферах звезд и в межзвездной среде.
2. Поле излучения.
3. Элементарные процессы излучения.
4. Элементарные процессы поглощения.
5. Элементарные процессы рассеивния света в газах.
6. Полеты с большими скоростями в плотных слоях атмосьер планет.
7. Взаимодействие лазерного излучения веществом.
8. Закон Кирхгофа.
9. Формула Рэлея-Джинса .
10. Формула Планка.
11. Уравнение переноса излучения в задачах в плоско-параллельной слое.
12. Уравнение переноса излучения в сферически-симметричных задачах.
13. Приближение «вперед-назад».
14. Локальное термодинамическое равновесие.
15. Приближение лучистой тепрлопроводности.

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

1. Вычислить поток и плотность потока импульса излучения через заданную поверхность.
2. Определить интенсивность выходящего из плоского слоя излучения.
3. Сформулировать критерии справедливости приближения квазистационарности поля излучения.
4. Оценить возможность пренебречь радиационным давлением в уравнении движения излучающего газа.

**Итоговая аттестация аспирантов.** Итоговая аттестация аспирантов по дисциплине проводится проводится в соответствии с локальным актом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов 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 промежуточной аттестации осуществляется с использованием нормативных оценок на зачете – зачет, незачет.

**Оценивание аспиранта на промежуточной аттестации в форме зачета**

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
Незачет	основное содержание учебного материала не раскрыто; допущены грубые ошибки в определении понятий и при использовании терминологии; не даны ответы на дополнительные вопросы.
Зачет	раскрыто содержание материала, даны корректные определения понятий; допускаются незначительные нарушения последовательности изложения; допускаются небольшие неточности при использовании терминов или в логических выводах;
Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
	при неточностях задаются дополнительные вопросы.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *Основная литература*

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Гидродинамика, М.: Наука, 1986
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Статистическая физика, М.: Наука, 1964
- Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. // Физика ударных волн и высокотемпературных газодинамических явлений, М.: Наука, 1966

### *Дополнительная литература и Интернет-ресурсы*

1. Шпольский Э.В. // Атомная физика, тт. 1-2, М.: Наука, 1984.
2. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. // Физика ударных волн и высокотемпературных газодинамических явлений, М.: Наука, 1966.
3. Баранов В.Б., Краснобаев К.В. // Гидродинамическая теория космической плазмы, М.: Наука, 1977
4. Марчук Г.И., Лебедев В.И. // Численные методы в теории переноса нейтронов, М.: Атомиздат, 1981
5. Уизем Дж. // Линейные и нелинейные волны, М.: Мир, 1977
6. Краснобаев К. В. // Основы механики сплошной среды, М.: Физматлит, 2005.

## 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.