

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук  
(ИПМех РАН)**

---

«Утверждаю»  
Директор ИПМех РАН  
д.ф.-м.н.  
С.Е. Якуш



«28» сентября 2018 г.

**Рабочая программа учебной дисциплины (РПУД)  
Динамика излучающего газа**

Направление подготовки 01.06.01 Математика и механика  
Специальность 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы

**Форма подготовки (очная)  
Отдел аспирантуры ИПМех РАН**

Всего 144 часов, всего зачетных единиц – 4  
Аудиторных часов – 36, в том числе:  
лекции – 36 часов  
Самостоятельная работа – 108 часов

Рабочая программа составлена в соответствии с Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России) от 30 июля 2014 г. № 866 "Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)".

Составитель: зам. директора, д.ф.-м.н. Якуш С.Е.

Заведующий отделом аспирантуры: Щелчкова И.Н.

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Динамика излучающего газа» предназначена для аспирантов, обучающихся по специальности 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы, и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика, учебный план подготовки аспирантов по специальности 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы.

**Цель** - изучение физических основ теории переноса теплового излучения, ионизированного газа.

### **Задачи:**

1. Освоение аспирантами базовых знаний в области теории переноса теплового излучения ионизированным газом;
2. Приобретение теоретических знаний в области теории переноса лучистого теплообмена;
3. Изучение способов получения уравнения переноса теплового излучения и методах его решения.

### **Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины**

Универсальные компетенции:

УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК - 2 Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК - 1 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

ОПК - 2 Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования;

Профессиональные компетенции:

ПК – 1 Умение использовать системный подход к исследованию технических систем и выработке стратегии научной деятельности в процессе реализации научных и технологических инноваций;

ПК - 2 Способность применять различные методы физических исследований в избранной предметной области: методы теоретической физики, вычислительные методы, методы математического и компьютерного моделирования объектов и процессов;

ПК - 3 Способность понимать сущность задач, поставленных в ходе профессиональной деятельности, использовать соответствующий физико-математический аппарат для их описания и решения;

ПК - 4 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

ПК - 5 Способность работать с современным программным обеспечением, приборами и установками в избранной области.

ПК - 6 Способность представлять результаты собственной деятельности с использованием современных средств, ориентируясь на потребности аудитории, в том числе в форме отчетов, презентаций, докладов.

ПК - 7 Способность самостоятельно применять методы механики и вычислительной математики, теоретические, расчетные и экспериментальные методы

исследований, методы математического и компьютерного моделирования к постановке и решению задач динамики излучающего газа.

### **Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.**

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

#### ***знать:***

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- методы реализации научно-исследовательской деятельности в области математики и механики, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач с использованием информационно-коммуникационных технологий;
- научные основы и закономерности плазмозфизических явлений, применяемые при постановке и решении математических задач динамики излучающего газа
- математический аппарат теории переноса теплового излучения;

#### ***уметь:***

- рассчитывать протекающие на молекулярном уровне физико-химические процессы;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач, включающих процессы переноса энергии фотонами и воздействия радиации на динамику течения;
- представлять результаты расчетов в наглядной и понятной форме;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;

- работать на современных компьютерах и суперкомпьютерах;

**владеть:**

- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации; выбора методов и средств решения задач исследования, навыками работы с вычислительной техникой;

- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;

- современными методами и технологиями вычислительной математики и механики, теоретическими, расчетными и экспериментальными методами исследований, применяемыми для прогноза поведения высокотемпературных систем с наличием диссоциации и ионизации и преобладанием теплообмена излучением;

- навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;

- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

## **СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (36 час.)**

**Тема 1. Основные характеристики радиационного поля излучения. (4 час.)**

Основные представления о природе излучения и его математическое описание. Спектральная интенсивность излучения и ее основные свойства. Спектральные лучистый поток, плотность излучения, тензор напряжений поля излучения. Сравнение волновой и квантовой модели излучения. Взаимодействие излучения с веществом.

**Тема 2. Перенос излучения в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах. (4 час.)**

Уравнение переноса излучения. Приток тепла за счет излучения. Закон сохранения лучистой энергии в среде. Решение уравнения переноса излучения.

**Тема 3. Законы термодинамически равновесного излучения. (4 час.)**

Абсолютно черное тело и его свойства. Закон Кирхгофа и локальное термодинамическое равновесие. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Закон излучения Планка.

**Тема 4. Спектральные коэффициенты поглощения газов. (4 час.)**

Классическая теория излучения и поглощения в атомных спектральных линиях. Представление о квантовой теории излучения и поглощения. Коэффициенты Эйнштейна и их связь с коэффициентами поглощения и излучения. Форма спектральных линий. Спектральные коэффициенты поглощения двухатомных молекул. Коэффициенты поглощения в непрерывном спектре.

#### **Тема 5. Граничные условия поля излучения. (4 час.)**

Спектральные характеристики излучения поверхности. Закон Кирхгофа для поверхности. Радиационные свойства оптически гладкой поверхности. Радиационные свойства оптически шероховатой поверхности. Однородный плоской слой газа. Осреднение по направлениям уравнения переноса излучения для одномерной задачи.

#### **Тема 6. Решение уравнения переноса излучения для плоского слоя излучающей и поглощающей поверхности. (4 час.)**

Одномерный перенос излучения. Решение при диффузионном отражении поверхности. Решение при зеркальном отражении поверхности. Однородный плоский слой газа. Осреднение по направлениям уравнения переноса излучения для одномерной задачи.

#### **Тема 7. Приближенные методы решения уравнений переноса. (4 час.)**

«Толсто-тонкое» приближение. Диффузионное приближение. Метод моментов для зависимостей от угловой координаты. Квазидиффузионный многогрупповой метод. Методы предварительного интегрирования уравнения переноса излучения по частоте. Эквивалентная ширина спектральных линий. Статистические модели полос.

#### **Тема 8. Гидродинамические уравнения для многокомпонентных частично ионизованных излучающих смесей газов. (8 час.)**

Закон сохранения массы. Уравнения диффузии компонентов. Уравнения диффузии элементов. Уравнение неразрывности для смеси в целом. Уравнение количества движения. Уравнения движения для смеси в целом. Уравнение живых сил. Закон сохранения энергии. Уравнения энергии и притока тепла для смеси в целом. Термодинамика необратимых процессов. Принцип Онзагера. Феноменоло-

гические уравнения переноса. Многокомпонентные коэффициенты диффузии и термодиффузии. Уравнения переноса массы компонентов в форме соотношений Стефана-Максвелла. Уравнения переноса массы компонентов в квазинейтральной частично ионизованной смеси газов. Химически равновесные течения многокомпонентного излучающего газа. Уравнения вязкого ударного слоя.

### **Тема 9. Радиационный теплообмен при внешнем обтекании тел. (4 час.)**

Система уравнений газодинамики с учетом лучистого теплообмена. Постановка задачи обтекания тел сверхзвуковым потоком селективно излучающего газа. Точность приближения локально-одномерного плоского слоя при расчете лучистого потока к телу. Аналитическое решение задачи обтекания осесимметричных и плоских тел излучающим газом. Коэффициент лучистого теплообмена для осесимметричных тел, полученный на основе численных решений

## **КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

### **Вопросы к экзамену**

1. Спектральная интенсивность излучения и ее основные свойства.
2. Спектральный лучистый поток, плотность излучения, тензор напряжений поля излучения.
3. Взаимодействие излучения с веществом. Классификация уровней энергии атомов и молекул.
4. Уравнение переноса излучения.
5. Приток тепла за счет излучения.
6. Закон сохранения лучистой энергии в среде.
7. Решение уравнения переноса излучения.
8. Абсолютно черное тело и его свойства.
9. Закон Кирхгофа и локальное термодинамическое равновесие.
10. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Закон излучения Планка.
11. Классическая теория излучения и поглощения в атомных спектральных линиях.
12. Представление о квантовой теории излучения и поглощения.

13. Коэффициенты Эйнштейна и их связь с коэффициентами поглощения и излучения.
14. Форма спектральных линий. Спектральные коэффициенты поглощения двухатомных молекул. Коэффициенты поглощения в непрерывном спектре.
15. Спектральные характеристики излучения поверхности.
16. Закон Кирхгофа для поверхности. Радиационные свойства оптически гладкой поверхности. Радиационные свойства оптически шероховатой поверхности.
17. Однородный плоский слой газа. Осреднение по направлениям уравнения переноса излучения для одномерной задачи.
18. «Толсто-тонкое» приближение. Диффузионное приближение.
19. Метод моментов для зависимостей от угловой координаты.
20. Квазидиффузионный многогрупповой метод.
21. Методы предварительного интегрирования уравнения переноса излучения по частоте.
22. Эквивалентная ширина спектральных линий. Статистические модели полос.
23. Многокомпонентные коэффициенты диффузии и термодиффузии.
24. Уравнения переноса массы компонентов в форме соотношений Стефана-Максвелла.
25. Уравнения переноса массы компонентов в квазинейтральной частично ионизованной смеси газов.
26. Химически равновесные течения многокомпонентного излучающего газа.
27. Уравнения вязкого ударного слоя.
28. Система уравнений газодинамики с учетом лучистого теплообмена.
29. Постановка задачи обтекания тел сверхзвуковым потоком селективно излучающего газа.
30. Точность приближения локально-одномерного плоского слоя при расчете лучистого потока к телу.
31. Аналитическое решение задачи обтекания осесимметричных и плоских тел излучающим газом.



32. Коэффициент лучистого теплообмена для осесимметричных тел, полученный на основе численных решений

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

(печатные и электронные издания)

1. Тирский Г.А. Пилюгин Н.Н. Динамика ионизованного излучающего газа. М.: Издательство Московского университета, 1989, 312 с.
2. Четверушкин Б.Н. Математическое моделирование задач динамики излучающего газа. М.: Наука, 1985, 304 с.
3. Суржиков С.Т. Тепловое излучение газов и плазмы. М.: ИПмех - МГТУ. 2004. 545 с.