

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
(ОИВТ РАН)

Принято на Ученом совете
ОИВТ РАН
Протокол № 8 от 23.12.2022

«Утверждаю»
Директор ОИВТ РАН
Александр Петров

« 23 » _____ 2022 года



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «Физико-химические процессы в газодинамике»

направление подготовки: **01.06.01 Математика и механика**
(специальность –1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы).

Квалификация
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Москва- 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины – Целью освоения дисциплины «**Физико-химические процессы в газодинамике**» является изучение теоретических основ и ознакомление с экспериментальными методами исследования физико-химических процессов, происходящих в ударных волнах и в сверхзвуковых расширяющихся потоках высокоэнтальпийного газа.

Задачами данного курса являются:

- ознакомление с особенностями газодинамических процессов с участием релаксирующих газовых смесей с замедленным возбуждением внутренних степеней свободы атомов и молекул, с иерархией характерных времен релаксационных процессов, с механизмами влияния релаксационных процессов на газодинамические параметры;
- ознакомление с существующими теоретическими и эмпирическими моделями расчета характерных времен релаксационных процессов в газах;
- формирование у магистрантов способности оперировать полученными знаниями для оценок характерных времен релаксационных процессов в задачах газодинамики, выбора приближений и моделей для постановки и проведения исследования газодинамических процессов;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «**Физическая газодинамика нестационарных воздействий**» относится к элективным дисциплинам и базируется на дисциплинах: динамика разреженных газов, распространение возмущений, термодинамика течений. Также указанная дисциплина существенно опирается на навыки математического анализа и линейной алгебры, дифференциальной геометрии, аппарата уравнений математической физики.

3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

Второй год, четвертый семестры обучения.

5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.

Лекции	<u>32</u> часа
Практические занятия	<u>нет</u>
Лабораторные работы	<u>нет</u>
Индивидуальные занятия с преподавателем	<u>нет</u>
Самостоятельные занятия	<u>88</u> часов
Итоговая аттестация	диф. зачет 2 курс – 8 часов,
ВСЕГО	4 зач. ед., 144 часа

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
1. Математическое описание газодинамических процессов.	64
2. Высокотемпературные газодинамические процессы.	56
ВСЕГО (часов)	120

Вид занятий

Лекции:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Релаксационные процессы	2
2	Поступательная релаксация	2
3	Вращательная релаксация	3
4	Колебательная релаксация.	3
5	Ангармонические колебания молекул, релаксация многоатомных молекул	2
6	Химические реакции в зоне ударной волны	3
7	Диссоциация и рекомбинация	2
8	Ионизация и рекомбинация в газах	3
9	Перенос излучения	3
10	Диффузионное приближение и лучистая теплопроводность	3
11	Газодинамика с переносом излучения	3
12	Ударные волны докритической и сверхкритической амплитуд	3
ВСЕГО (часов)		32 часа

Лабораторные занятия: нет

Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной	32 часа

	программой, методические пособия.	
2	- решение задач по заданию преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	56 часов
3	-подготовка к дифференцированному зачету	24 часа
ВСЕГО (часов)		112 часов

Содержание дисциплины

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы/часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы/часы)
1	I Релаксационные процессы в газовой динамике	Релаксационные процессы	Понятие о релаксационной зоне ударной волны в реальном газе. Особенности газодинамики релаксирующих газов с замедленным возбуждением внутренних степеней свободы молекул. Иерархия характерных времен релаксационных процессов.	2	4
2		Поступательная релаксация	Поступательная релаксация. Газокинетическое уравнение Больцмана. Характерные времена поступательной релаксации в однокомпонентной и двухкомпонентной системах одноатомных газов. Немаксвелловские распределения. Эффекты, вызываемые поступательной неравновесностью во фронте ударной волны.	2	4
3		Вращательная релаксация	Вращательная релаксация. Особенности и характерное время вращательной релаксации. Классическая и полуклассические теории вращательной релаксации. Адиабатические и неадиабатические вращательные уровни. Экспериментальные методы определения времен вращательной релаксации.	3	6
4		Колебательная релаксация	Колебательная релаксация. Модель гармонического осциллятора. Формула Ландау-Теллера. Колебательная релаксация малой примеси двухатомного газа в среде инертного газа. Распределение мо-	3	6

			лекул по колебательным уровням при V-T-обмене. Колебательная релаксация в однокомпонентной системе двухатомных молекул, моделируемых гармоническими осцилляторами. V-V-обмен.		
5		Ангармонические колебания молекул, релаксация многоатомных молекул	Модель ангармонического осциллятора. Распределение Тринора. Релаксация в однокомпонентной системе ангармонических осцилляторов. Колебательная релаксация многоатомных молекул.	2	6
6		Химические реакции в зоне ударной волны	Химические реакции в релаксационной зоне ударных волн. Особенности взаимодействия колебательной релаксации и диссоциации многоатомных молекул. Статистическая теория мономолекулярного распада. Двухтемпературные модели диссоциации. Лестничные модели.	3	6
7		Элементарная теория пограничного слоя.	Ламинарный пограничный слой. Система уравнений Прандтля. Решение уравнений Прандтля в безразмерных переменных. Обтекание полубесконечной пластины. Логарифмический закон распределения скоростей в пограничном слое. Структура пограничных слоёв при обтекании тел вращения.	2	6
8		Диссоциация и рекомбинация	Диссоциация в условиях многомодовой колебательной неравновесности. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расширяющихся потоках высокоэнтальпийного диссоциированного газа.	3	6
9	II Перенос излучения в газах и формирование структуры сильных ударных волн	Перенос излучения	Основные понятия. Спектральная интенсивность и плотность излучения. Длины пробега излучения в среде. Механизмы испускания, поглощения и рассеяния света в газах. Уравнение переноса излучения. Закон Кирхгофа. Излучение плоского слоя.	3	10
10		Диффузионное приближение и лучистая теплопроводность	Движение вещества с учетом лучистого теплообмена. Диффузионное приближение. Локальное равновесие излучения и приближение лучистой теплопроводности. Росселандов пробег излучения. Взаимотношение диффузионного приближения и приближения лучистой теплопроводности. Потери энергии нагретого вещества на излучение.	3	12
11		Газодинамика с переносом	Уравнения газодинамики с учетом энергии давления излучения и лучистого теплообмена. Формулировка задачи о	3	12

		излучения	структуре фронта сильной ударной волны. Опережающее излучение и температура прогрева.		
12		Ударные волны докритической и сверхкритической амплитуд	Ударная волна докритической амплитуды. Ближняя и дальняя прекурсорная зоны. Ближняя прекурсорная зона в атомарных газах. Диффузия резонансного излучения в дальней прекурсорной зоне. Ударная волна сверхкритической амплитуды.	3	10

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	лекция	Изложение теоретического материала	получение теоретических знаний по дисциплине
2	интерактивная лекция	Изложение теоретического материала с помощью презентаций	повышение степени понимания материала
3	лекция	Решение задач по заданию (индивидуально где требуется) преподавателя – готовятся ответы на вопросы, выданные (индивидуально и коллективно) преподавателем в процессе лекционных занятий и обсуждаются с участием всех слушателей, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также учебно-методические пособия	осознание связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин
4	самостоятельная работа студента	Подготовка к применению полученных знаний в НИР студента, подготовка к экзамену	повышение степени понимания материала

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Контрольно-измерительные материалы

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета.

1. Прямой скачок уплотнения.
2. Фронт ударной волны.
3. Релаксационная зона ударной волны в реальном газе.
4. Релаксационная зона ударной волны, распространяющейся в горючей смеси.
5. Возбуждение внутренних степеней свободы молекул.
6. Иерархия характерных времен релаксационных процессов в смесях молекулярных и атомарных газов.
7. Приближение замороженной релаксации.
8. Приближение равновесного возбуждения внутренних степеней свободы.
9. Релаксационное уравнение.

10. Поступательная релаксация в однокомпонентной и двухкомпонентной системах одноатомных газов.
11. Кинетическое уравнение Больцмана.
12. Приближение сильных столкновений.
13. Эффекты, вызываемые поступательной неравновесностью во фронте ударной волны.
14. Вращательная релаксация. Приближение жесткого ротатора.
15. Параметр Мессе. Адиабатический и неадиабатический механизм релаксации.
16. Экспериментальные методы определения времен вращательной релаксации.
17. Колебательная релаксация. Модель гармонического осциллятора (ГО). Распределение Больцмана по уровням ГО.

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета.

1. Формула Ландау-Теллера.
2. V-T-обмен.
3. V-V-обмен.
4. Теория SSH.
5. Модель ангармонического осциллятора (АГО). Распределение Тринора.
6. Колебательная релаксация многоатомных молекул. Модовое приближение.
7. Принцип действия газодинамического лазера на углекислом газе.
8. Диссоциация при неравновесном колебательном возбуждении.
9. Двух и многотемпературные модели диссоциации.
10. Лестничные модели диссоциации многоатомных молекул.
11. Диссоциация при высоких температурах.
12. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расширяющихся потоках высокоэнтальпийного диссоциированного газа.
13. Основные механизмы ионизации в ударных волнах.
14. Рекомбинация в сверхзвуковых расширяющихся потоках частично ионизованного газа.
15. Газодинамические параметры потоков газов с замороженными и релаксирующими внутренними степенями свободы.
16. Роль переноса излучения в формировании и распространении сильных ионизирующих ударных волн.
17. Распределение параметров в прекурсорной зоне сильной ударной волны.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система)

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Язык преподавания – русский.

Основная литература.

- 1) Загидуллин, М. В. Кинетика элементарных процессов в газах [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / М. В. Загидуллин, В. Н. Азязов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - Самара : Изд-во Самар. ун-та, 2017. - on-line. - ISBN = 978-5-7883-1156-2
- 2) Кустова Е.В. Пузырева Л.А., Нагнибеда Е.А. Описание неравновесной кинетики в многоатомных газах. – Litres, 2022.

- 3) Кустова Е.В., Нагнибеда Е.А., Пузырева Л.А. Описание неравновесной кинетики в многоатомных газах: –учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2016 – 96 с. ISBN: 978-5-288-05671-0
- 4) Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физматлит. Изд. 3., 656 с., 2008.
- 5) Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Интеллект, 2009.

Дополнительная литература.

1. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.
2. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М: Наука, 1982

Программу составила

«19» декабря 2022 г.



доцент, к.ф.-м.н. В.В.Шумова,