**Министерство науки и образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Московский физико-технический институт (государственный университет)»**

**МФТИ (ГУ)**

**Кафедра «Физика высокотемпературных процессов»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по учебной работе**

**О. А. Горшков**

**2012 г**.

.

**Рабочая УЧЕБНАЯ Программа**

**по дисциплине:** **Физико-химические процессы в газодинамике**

**по направлению:** 010900 «Прикладные математика и физика»

**магистерская программа:** 010932 – физика высокотемпературных процессов

**факультет:** **МБФ**

**кафедра: Физика высокотемпературных процессов**

**курс:** 5 (магистратура)

**семестры:** 10 **Диф. зачет: 10 семестр**

**Трудоёмкость в зач. ед.:** вариативная часть – 2 зач. ед.;

**в т.ч.:**

**лекции:** 32 час.;

**практические (семинарские) занятия:** нет;

**лабораторные занятия:** нет;

**мастер классы, индивид. и групповые консультации:** нет;

**самостоятельная работа:** 32 час.;

**курсовые работы:** нет.

**ВСЕГО часов 64**

**Программу составил:** доцент,к.ф.-м.н., Шумова В.В.

**Программа обсуждена на заседании кафедры физики высокотемпературных процессов**

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.

Заведующий кафедрой академик, д.ф.-м.н. В.Е. Фортов

**ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Вариативная часть, в т.ч. :** | \_\_2\_\_ зач. ед. |
| Лекции | \_32\_ часа |
| Практические занятия | \_\_-\_\_ часов |
| Лабораторные работы | \_\_-\_\_ часов |
| Индивидуальные занятия с преподавателем | \_\_-\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия, включая подготовку курсовой работы | \_32\_ часа |
| Мастер- классы, индивидуальные и групповые консультации | \_\_-\_\_ часов |
| Самостоятельные занятия (работа над коллективными и индивидуальными проектами, курсовые работы) | \_\_-\_\_ часов |
| **ВСЕГО** | 64 часа (2 зач. ед.) |
| **Итоговая аттестация** | Диф. зачет: 10 семестр |

1. **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

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.

1. **Место дисциплины в структуре ООП МАГИСТРАТУРЫ**

Дисциплина **«Физико-химические процессы в газодинамике»** включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к профессиональному циклу М.2.

Дисциплина **«Физико-химические процессы в газодинамике»**базируется на материалах курсов бакалавриата: базовая и вариативная часть кода УЦ ООП Б.2**(**математическийестественнонаучный блок) по дисциплинам«Высшая математика» (математический анализ, высшая алгебра, дифференциальные уравнения и методы математической физики), блока «Общая физика» и региональной составляющей этого блока и относится к профессиональному циклу***.*** Освоение курса необходимо для разносторонней подготовки магистров к профессиональной деятельности, включающей как проведение фундаментальных исследований, так и постановку и решение инженерных задач.

1. **Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

Освоение дисциплины «**Физико-химические процессы в газодинамике**» направлено на формирование следующих общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций магистрата:

*а) общекультурные (ОК):*

* *компетенция самообразования и самоорганизации*: способность и стремление к совершенствованию и развитию своего интеллектуального и общекультурного уровня, умение эффективно организовывать свою деятельность и достигать поставленные цели (ОК-1);
* *компетенция* *профессиональной мобильности*: способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности (ОК-2);
* *компетенция получения знаний и использования новой информации:* способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать на практике новые знания и умения, способность интегрировать новую информацию в уже имеющуюся систему знаний и применять её, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОК-3);
* *компетенция системного аналитического мышления:* способность к системному мышлению и анализу, к аналитической оценке событий и процессов в природе, технике и обществе (ОК-4);

*профессиональные (ПК):*

* способность к пониманию важности воздействия внешних факторов, и их учёта в ходе исследований и разработок (ПК-2);
* компетенция самостоятельных исследований: способность самостоятельно оптимально планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в избранной предметной области (по программе специализированной подготовки магистра) с использованием эффективных методов (ПК-10);
* компетенция количественного описания явлений и процессов: способность применения навыков количественного описания и прогнозирования природных, технологических, производственных и социально-экономических явлений и процессов и динамики их развития (ПК-11).

1. **конкретные Знания, умения и навыки, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины «**Физико-химические процессы в газодинамике**» обучающийся должен:

* 1. **Знать:**
* фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
* порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
* современные проблемы физики, химии, математики;
* основы молекулярной физики, химической кинетики и термодинамики, физики плазмы, ударных волн;
* экспериментальные методы исследования релаксационных свойств газов и газовых смесей;
* теоретические подходы к расчету характерных времен релаксационных процессов в газовых смесях;
* современные модели описания релаксационных процессов в газах и подходы к описанию газодинамических процессов.

1. **Уметь:**

* абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
* пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
* делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
* производить численные оценки по порядку величины;
* делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
* видеть в технических задачах физическое содержание;
* осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
* работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
* эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и экспериментальных результатов.

1. **Владеть:**

* навыками освоения большого объема информации;
* навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
* культурой постановки и моделирования физических задач;
* навыками грамотной обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
* практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
* навыками выполнения оценок характерных времен релаксационных процессов в газодинамических процессах с участием высокоэнтальпийных газов.

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Структура преподавания дисциплины**

**Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам**

|  |  |
| --- | --- |
| № темы и название | Количество часов |
| 1. Релаксационные процессы в газовой динамике | 40 |
| 2. Перенос излучения в газах и формирование структуры сильных ударных волн | 24 |
| ВСЕГО (зач. ед. (часов)) | 64 часа (2 зач. ед.) |

**Лекции:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость  (количество часов) |
| 1 | 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 |
| 2 | 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 |
| 3 | 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 |
| 4 | Колебательная релаксация. Модель гармонического осциллятора. Формула Ландау-Теллера. Колебательная релаксация малой примеси двухатомного газа в среде инертного газа. Распределение молекул по колебательным уровням при V-T-обмене. Колебательная релаксация в однокомпонентной системе двухатомных молекул, моделируемых гармоническими осцилляторами. V-V-обмен. | 3 |
| 5 | Модель ангармонического осциллятора. Распределение Тринора. Релаксация в однокомпонентной системе ангармонических осцилляторов. Колебательная релаксация многоатомных молекул. | 2 |
| 6 | 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 |
| 7 | Диссоциация в условиях многомодовой колебательной неравновесности. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расшияющихся потоках высокоэнтальпийного диссоциированного газа. | 2 |
| 8 | Ионизационная зона сильных ударных волн в газах. Механизмы появления первичных электронов: модель Ландау-Зинера, фотоионизация. Основные механизмы ионизации в ударных волнах. Температура электронов и тяжелых частиц. Кинетика ступенчатой ионизации. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расширяющихся потоках частично ионизованного газа. | 3 |
| 9 | 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 | Движение вещества с учетом лучистого теплообмена. Диффузионное приближение. Локальное равновесие излучения и приближение лучистой теплопроводности. Росселандов пробег излучения. Взаимоотношение диффузионного приближения и приближения лучистой теплопроводности. Потери энергии нагретого вещества на излучение. | 3 |
| 11 | Уравнения газодинамики с учетом энергии давления излучения и лучистого теплообмена. Формулировка задачи о структуре фронта сильной ударной волны. Опережающее излучение и температура прогревания. | 3 |
| 12 | Ударная волна докритической амплитуды. Ближняя и дальняя прекурсорные зоны. Ближняя прекурсорная зона в атомарных газах. Диффузия резонансного излучения в дальней прекурсорной зоне. Ударная волна сверхкритической амплитуды. | 3 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 32 часа (1 зач. ед.) |

**Самостоятельная работа:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п.п. | Темы | Трудоёмкость  (количество часов) |
| 1 | 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 |
| 2 | 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 |
| 3 | 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 |
| 4 | Колебательная релаксация. Модель гармонического осциллятора. Формула Ландау-Теллера. Колебательная релаксация малой примеси двухатомного газа в среде инертного газа. Распределение молекул по колебательным уровням при V-T-обмене. Колебательная релаксация в однокомпонентной системе двухатомных молекул, моделируемых гармоническими осцилляторами. V-V-обмен. | 3 |
| 5 | Модель ангармонического осциллятора. Распределение Тринора. Релаксация в однокомпонентной системе ангармонических осцилляторов. Колебательная релаксация многоатомных молекул. | 2 |
| 6 | 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 |
| 7 | Диссоциация в условиях многомодовой колебательной неравновесности. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расшияющихся потоках высокоэнтальпийного диссоциированного газа. | 2 |
| 8 | Ионизационная зона сильных ударных волн в газах. Механизмы появления первичных электронов: модель Ландау-Зинера, фотоионизация. Основные механизмы ионизации в ударных волнах. Температура электронов и тяжелых частиц. Кинетика ступенчатой ионизации. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расширяющихся потоках частично ионизованного газа. | 3 |
| 9 | 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 | Движение вещества с учетом лучистого теплообмена. Диффузионное приближение. Локальное равновесие излучения и приближение лучистой теплопроводности. Росселандов пробег излучения. Взаимоотношение диффузионного приближения и приближения лучистой теплопроводности. Потери энергии нагретого вещества на излучение. | 3 |
| 11 | Уравнения газодинамики с учетом энергии давления излучения и лучистого теплообмена. Формулировка задачи о структуре фронта сильной ударной волны. Опережающее излучение и температура прогревания. | 3 |
| 12 | Ударная волна докритической амплитуды. Ближняя и дальняя прекурсорные зоны. Ближняя прекурсорная зона в атомарных газах. Диффузия резонансного излучения в дальней прекурсорной зоне. Ударная волна сверхкритической амплитуды. | 3 |
| ВСЕГО ( зач. ед.(часов)) | | 32 часа (1 зач. ед.) |

* 1. **Содержание дисциплины**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Название модулей | Разделы и темы лекционных занятий | Содержание | Объем | |
| Аудиторная работа  (часы) | Самостоятельная работа  (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 | 2 |
| 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 | 2 |
| 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 | 3 |
| 4 | **Колебательная релаксация** | Колебательная релаксация. Модель гармонического осциллятора. Формула Ландау-Теллера. Колебательная релаксация малой примеси двухатомного газа в среде инертного газа. Распределение молекул по колебательным уровням при V-T-обмене. Колебательная релаксация в однокомпонентной системе двухатомных молекул, моделируемых гармоническими осцилляторами. V-V-обмен. | 3 | 3 |
| 5 | **Ангармонические колебания молекул, релаксация многоатомных молекул** | Модель ангармонического осциллятора. Распределение Тринора. Релаксация в однокомпонентной системе ангармонических осцилляторов. Колебательная релаксация многоатомных молекул. | 2 | 2 |
| 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 | 3 |
| 7 | **Диссоциация и рекомбинация** | Диссоциация в условиях многомодовой колебательной неравновесности. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расшияющихся потоках высокоэнтальпийного диссоциированного газа. | 2 | 2 |
| 8 | **Ионизация и рекомбинация в газах** | Ионизационная зона сильных ударных волн в газах. Механизмы появления первичных электронов: модель Ландау-Зинера, фотоионизация. Основные механизмы ионизации в ударных волнах. Температура электронов и тяжелых частиц. Кинетика ступенчатой ионизации. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расширяющихся потоках частично ионизованного газа. | 3 | 3 |
| 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 | 3 |
| 10 | Диффузионное приближение и лучистая теплопроводность | Движение вещества с учетом лучистого теплообмена. Диффузионное приближение. Локальное равновесие излучения и приближение лучистой теплопроводности. Росселандов пробег излучения. Взаимоотношение диффузионного приближения и приближения лучистой теплопроводности. Потери энергии нагретого вещества на излучение. | 3 | 3 |
| 11 | **Газодинамика с переносом излучения** | Уравнения газодинамики с учетом энергии давления излучения и лучистого теплообмена. Формулировка задачи о структуре фронта сильной ударной волны. Опережающее излучение и температура прогревания. | 3 | 3 |
| 12 | Ударные волны докритической и сверхкритической амплитуд | Ударная волна докритической амплитуды. Ближняя и дальняя прекурсорные зоны. Ближняя прекурсорная зона в атомарных газах. Диффузия резонансного излучения в дальней прекурсорной зоне. Ударная волна сверхкритической амплитуды. | 3 | 3 |

1. **Образовательные технологии**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Вид занятия | Форма проведения занятий | Цель |
| 1 | лекция | изложение теоретического материала | получение теоретических знаний по дисциплине |
| 2 | лекция | изложение теоретического материала с помощью презентаций | повышение степени понимания материала |
| 3 | лекция | решение задач по заданию (индивидуальному где требуется) преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце изучения темы, используются учебники, рекомендуемые данной программой | осознание связей между теорией и практикой, а также взаимозависимостей разных дисциплин |
| 4 | самостоятельная работа студента | подготовка к диф. зачету | повышение степени понимания материала |

1. **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 диф. зачета в 10-ом семестре.

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 Месси. Адиабатический и неадиабатический механизм релаксации.
16. Экспериментальные методы определения времен вращательной релаксации.
17. Колебательная релаксация. Модель гармонического осциллятора (ГО). Распределение Больцмана по уровням ГО.
18. Формула Ландау-Теллера.
19. V-T-обмен.
20. V-V-обмен.
21. Теория SSH.
22. Модель ангармонического осциллятора (АГО). Распределение Тринора.
23. Колебательная релаксация многоатомных молекул. Модовое приближение.
24. Принцип действия газодинамического лазера на углекислом газе.
25. Диссоциация при неравновесном колебательном возбуждении.
26. Двух и многотемпературные модели диссоциации.
27. Лестничные модели диссоциации многоатомных молекул.
28. Диссоциация при высоких температурах.
29. Кинетика рекомбинации в сверхзвуковых расширяющихся потоках высокоэнтальпийного диссоциированного газа.
30. Основные механизмы ионизации в ударных волнах.
31. Рекомбинация в сверхзвуковых расширяющихся потоках частично ионизованного газа.
32. Газодинамические параметры потоков газов с замороженными и релаксирующими внутренними степенями свободы.
33. Роль переноса излучения в формировании и распространении сильных ионизующих ударных волн.
34. Распределение параметров в прекурсорной зоне сильной ударной волны.
35. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**
    1. **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:** компьютер и мультимедийное оборудование (проектор), доступ к сети Интернет
36. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**
    1. **Основная литература**
37. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Физматлит. Изд. 3., 656 с., 2008.
38. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Интеллект, 2009.
    1. **Дополнительная литература:**
39. Гоpдиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические пpоцессы в газах и молекуляpные лазеpы. М.: Hаука, 1980.
40. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М: Hаука, 1982.

**Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.**

1. Курс лекций «Физика плазмы», <http://www.inp.nsk.su/chairs/plasma/sk/fpl.ru.shtml>

Программу составил

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (Шумова В.В., к.ф.-м.н., доцент)

«\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2012 г.