

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора Института по научной работе

 С.В. Лебедев

 2015 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ТЕЧЕНИЯ С ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И  
ПЛАЗМОДИНАМИКА**

основной образовательной программы подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль:

01.04.08 Физика плазмы

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом

Протокол № 1 от 20 февраля 2015 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.08 Физика плазмы

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целями изучения дисциплины является:**

- Углубление знаний по ряду теоретических проблем в области математического моделирования течений жидкости и газа при наличии различных сопутствующих физико-химических процессов
- Приобретение опыта расчетов различных технологических процессов, энергетических установок и т.д.

**Задачи дисциплины заключаются в изучении:**

Фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к течениям с физико-химическими процессами и течения низкотемпературной плазмы.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки и др.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

- 2.1. Учебная дисциплина «Течения с физико-химическими процессами и «плазмодинамика» входит в вариативную часть ООП (дисциплины по выбору).
- 2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов ФТИ им. А.Ф. Иоффе, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы и имея по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных учебных программах указанных уровней.
- 2.3. Дисциплина «Течения с физико-химическими процессами и «плазмодинамика» необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Процесс изучения дисциплины «Течения с физико-химическими процессами и «плазмодинамика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по профилю 01.04.08 Физика плазмы.

### **3.1. Универсальные компетенции:**

- 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-1).

### **3.2. Общепрофессиональные компетенции:**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

### **3.3. Профессиональные компетенции:**

- способность проводить исследования физики переноса энергии и вещества в плазме ловушек с магнитным удержанием, на основе методик, освоенных в процессе прохождения курса, и интерпретировать результаты экспериментальных исследований с применением полученных теоретических знаний (ПК-1);

- способность проводить исследования физики ВЧ и инжекционного нагрева высокотемпературной плазмы на установках с магнитным удержанием, а также оценивать перспективность применения этих методов нагрева в термоядерных реакторах (ПК-2);

- планировать, организовывать работу по проектам, направленным на исследование физики высокотемпературной плазмы в современных установках с магнитным удержанием и на создание установок реакторного масштаба, основанных на современных представлениях о физике термоядерных реакторов (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методы и средства решения поставленных задач (ПК-4).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану.

Наименование разделов и тем	Трудоемкость (в ЗЕТ)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	Лаб. / практ	самостоятельная работа	контроль
1	2	3	4	5	6	7
<b>Раздел 1. Основы молекулярно-кинетической теории, уравнение Больцмана</b>						
Тема 1.1 Функция распределения и ее связь с макроскопическими характеристиками смеси		16	6		10	
Тема 1.2. Кинетическое уравнение Больцмана		16	6		10	
Тема 1.3. Газодинамические уравнения переноса, выраженные через векторы плотности потоков		16	6		10	
Всего по разделу		48	18		30	
<b>Раздел 2. Вынужденная конвекция многокомпонентных газовых смесей. Уравнения Навье-Стокса</b>						
Тема 2.1. Уравнения Навье-Стокса для многокомпонентных газовых смесей без учета массовых сил		16	6		10	
Тема 2.2. Определение химических источников членов в уравнениях переноса массы отдельных компонентов смеси		16	6		10	
Тема 2.3. Общие особенности химически-реагирующих течений с точки зрения численного моделирования		16	6		10	
Тема 2.4. Преимущества и недостатки использования безразмерной формы математической модели. Приведение уравнений и замыкающих соотношений к безразмерной форме. Критерии подобия		16	6		10	
Тема 2.5 Особенности моделей естественной и смешанной конвекции капельных жидкостей. Обобщенная и		16	6		10	

классическая формы приближения Буссинеска						
Тема 2.6. Основы химической плазмодинамики		16	6		10	
Всего по разделу		96	36		60	
Всего по дисциплине	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>54</b>		<b>90</b>	за- чет

#### 4.2. Содержание разделов и тем

##### Раздел 1. Основы молекулярно-кинетической теории, уравнение Больцмана

Тема 1.1 Функция распределения и ее связь с макроскопическими характеристиками смеси

Понятие фазового пространства. Определение функции распределения по скоростям. Скорость теплового движения, скорость диффузии, среднемассовая скорость. Выражения макроскопических параметров через функцию распределения.

Тема 1.2. Кинетическое уравнение Больцмана

Формулировка и уравнения, смысл его отдельных членов. Математический тип уравнения.

Тема 1.3. Газодинамические уравнения переноса, выраженные через векторы плотности потоков

Вывод обобщенного уравнения переноса Энскога для величины и для смеси. Понятие и примеры сумматорных инвариантов и доказательство равенства нулю правой части уравнения Больцмана для сумматорных инвариантов. Уравнения неразрывности для  $i$ -ой компоненты смеси и для смеси в целом. Уравнение переноса импульса смеси. Уравнение переноса энергии.

##### Раздел 2. Вынужденная конвекция многокомпонентных газовых смесей. уравнения Навье-Стокса

Тема 2.1. Уравнения Навье-Стокса для многокомпонентных газовых смесей без учета массовых сил

Определение вынужденной конвекции, формулировка уравнений Навье-Стокса для химически-реагирующих смесей без учета массовых сил

Тема 2.2. Определение химических источников членов в уравнениях переноса массы отдельных компонентов смеси

Формализм представления гомогенных (в газовой фазе) химических реакций. Закон действующих масс. Понятия констант скоростей и равновесия химических реакций. Различные формы записи химических источников членов в уравнениях переноса массы отдельных компонентов смеси

Тема 2.3. Общие особенности химически-реагирующих течений с точки зрения численного моделирования

Классификация химически-реагирующих течений, общие особенности таких течений с точки зрения численного моделирования. Внутренние и внешние течения (типы границ и особенности граничных условий).

Тема 2.4. Преимущества и недостатки использования безразмерной формы математической модели. Приведение уравнений и замыкающих соотношений к безразмерной форме. Критерии подобия

Теорема теории размерностей. Безразмерная форма системы уравнений Навье-Стокса для химически-реагирующих смесей. Определение критериев и параметров подобия. Основные критерии подобия.

Тема 2.5 Особенности моделей естественной и смешанной конвекции капельных жидкостей. Обобщенная и классическая формы приближения Буссинеска.

Роль естественно- и смешанно-конвективных течений реагирующих смесей в природе и технике. Модели естественной и смешанной конвекции. Формы приближения Буссинеска. Естественно-конвективный пограничный слой на твердой поверхности. Вывод уравнений для общего случая произвольно ориентированной поверхности и для частных случаев горизонтальной и вертикальной поверхностей

Тема 2.6. Основы химической плазмодинамики

Химические процессы в низкотемпературной плазме. Кинетика и механизм газофазных плазмохимических процессов. Моделирование процессов в неравновесной плазме. Функции распределения электронов по энергиям и скорости процессов, инициированных электронным ударом. Химическая активность неравновесной плазмы.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Технология процесса обучения по дисциплине «Течения с физико-химическими процессами и плазмодинамика» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию;
- д) зачет по окончании изучения дисциплины.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Течения с физико-химическими процессами и плазмодинамика» и формирует необходимые компетенции;

- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **6.1. Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован

как выступление на семинарах.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

## **6.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Течения с физико-химическими процессами и плазмодинамика». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме. Экзаменационный билет состоит из 2 теоретических вопросов.

На зачете аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Течения с физико-химическими процессами и плазмодинамика».

### **Контрольные вопросы для зачета:**

1. Понятие фазового пространства.
2. Выражения макроскопических параметров через функцию распределения.
3. Формулировка кинетического уравнения Больцмана.
4. Вывод обобщенного уравнения переноса Энскога для величины и для смеси.
5. Понятие и примеры сумматорных инвариантов.
6. Доказательство равенства нулю правой части уравнения Больцмана для сумматорных инвариантов.
7. Уравнения Навье-Стокса для многокомпонентных газовых смесей без учета массовых сил
8. Уравнения Навье-Стокса для химически-реагирующих смесей без учета массовых сил
9. Закон действующих масс.
10. Определение констант скоростей и равновесия химических реакций. Различные формы записи химических источниковых членов в уравнениях переноса массы отдельных компонентов смеси
11. Классификация химически-реагирующих течений.
12. Внутренние и внешние течения (типы границ и особенности граничных условий).
13. Теорема теории размерностей.
14. Безразмерная форма системы уравнений Навье-Стокса для химически-реагирующих смесей. Основные критерии подобия.
15. Модели естественной и смешанной конвекции.
16. Формы приближения Буссинеска.
17. Естественно-конвективный пограничный слой на твердой поверхности.
18. Химические процессы в низкотемпературной плазме.
19. Кинетика и механизм газофазных плазмохимических процессов.
20. Функции распределения электронов по энергиям и скорости процессов, инициированных электронным ударом.
21. Химическая активность неравновесной плазмы.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1. Основная литература**

1. Теоретические основы пожаро- и взрывобезопасности. Горение перемешанных реагентов Учеб. пособие для студ. вузов / Снегирев, А. Ю. — СПб: Изд-во СПбГПУ, 2007
2. Даутов Г.Ю., Тимошевский В.Н., Анышаков А.С. Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии. Проблемы и перспективы. Новосибирск: Наука. 2004.

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Внутренние течения газовых смесей. / Лапин Ю.В., Стрелец М.Х. — М., Наука, 1989
2. Численное моделирование реагирующих потоков / Оран Э., Борис Дж. — М., Мир, 1990
3. Газодинамика горения / Зверев, Смирнов — М., МГУ, 1987

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Отечественные журналы:

1. Известия РАН. Механика жидкости и газа ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7827](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7827); доступ с 2007 по текущий год)
2. Физика горения и взрыва (<http://sibran.ru/journals/FGV/>; доступ с 1965 по 2011; <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1014985>; доступ с 2000 по 2012)

Переводные журналы:

1. Combustion, Explosion and Shock Waves (<http://link.springer.com/journal/10573>; доступ с 1965- по текущий год)
2. Fluid Dynamics (<http://link.springer.com/journal/10697>; доступ с 1966 по текущий год)

Иностранные журналы:

1. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/chaos>; доступ с 1991 по текущий год)
2. European Journal of Mechanics - B/Fluids (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09977546>; доступ с 2006 по текущий год, частично)
3. Experimental Thermal and Fluid Science (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08941777>; доступ с 2006 по текущий год, частично))
4. Experiments in Fluids (<http://link.springer.com/journal/348>; доступ с 1983 по текущий год)
5. Fluid Dynamics Research (<http://iopscience.iop.org/1873-7005/>; доступ с 1986 по текущий год)
6. Flow, Turbulence and Combustion (<http://link.springer.com/journal/10494>; доступ с 1949 по текущий год)
7. Journal of Fluids and Structures (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08899746>; доступ с 2006 по текущий год, частично)
8. Journal of Mathematical Fluid Mechanics (<http://link.springer.com/journal/21>; доступ с 1999 по текущий год)
9. The Journal of Supercritical Fluids (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08968446>; доступ с 2006 по текущий год)

10. Journal of Vibration and Control (<http://jvc.sagepub.com/>; доступ с 1995 по по текущий год)
11. Physica D: Nonlinear Phenomena (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01672789>; доступ с 2006 по текущий год)
12. Physics of Fluids (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pof1>; доступ с 1958 по 1988)
13. Physics of Fluids A: Fluid Dynamics (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pof1>; доступ с 1989 по 1993)
14. Physics of Fluids (<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pof2>; доступ с 1994 по текущий год)
15. Shock Waves (<http://link.springer.com/journal/1934>; доступ с 1991 по текущий год)
16. Theoretical and Computational Fluid Dynamics (<http://link.springer.com/journal/162>; доступ с 1989 по текущий год)
17. Wave Motion (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01652125>; доступ с 2006 по текущий год.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Компьютерный класс