МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

# Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

### Одобрено УМС ИАТЭ НИЯУ МИФИ,

Протокол №2-8/2021 От 30.08.2021

Математические модели физической кинетики

*( Наименование дисциплины)*

01.04.02 – Прикладная математика и информатика

*(Код (шифр), наименование направления подготовки (специальности) ФГОС)*

«Математическая физика и математическое моделирование»

*(Профиль направления)*

магистр

*(Квалификация (степень) выпускника)*

очная

*Форма обучения (очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)*

**г. Обнинск 2021г.**

Программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению подготовки 01.04.02 – Прикладная математика и информатика.

Автор: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.А. Галкин, профессор, д.ф.-м.н., профессор

Рецензент

Заведующий лабораторией Математических методов ФИАЦ ФГБУ «НПО «Тайфун», д.т.н Д. А. Камаев.

Программа рассмотрена на заседании отделения интеллектуальных кибернетических систем (О) (протокол № 5/7 от «30» июля 2021 г.)

Руководитель образовательной программы

01.04.02 – «Прикладная математика и информатика»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.В. Ермаков

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ООП для специалистов обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Коды компетенций | **Результаты освоения ООП**  **Содержание компетенций\*** | **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине\*\*** |
| **УК-1** | Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий*.* | З-УК-1 Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации  У-УК-1 Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации  В-УК-1 Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий |
| **ОПК-2** | Способен совершенствовать и  реализовывать новые математические методы  решения прикладных задач | З-ОПК-2 Знать основные понятия, математические методы решения прикладных задач, принципы математического моделирования и методы верификации.  У-ОПК-2 Уметь применять полученную теоретическую базу для решения практических задач  В-ОПК-2 Владеть основными математическими методами решения прикладных задач |
| **ПК-2** | Способен к разработке и внедрению наукоемкого программного обеспечения, способствующего решению передовых задач науки и техники на основе современных математических методов и алгоритмов | З-ПК-2 Знать текущее положение современных научных достижений, современные математические методы и алгоритмы для разработки наукоемкого программного обеспечения.  У-ПК-2 Уметь применять современные математические методы и алгоритмы для разработки наукоемкого программного обеспечения.  В-ПК-2 Владеть навыками разработки и внедрения наукоемкого программного обеспечения. |

2. Место дисциплины в структуре ООП для специалистов

Дисциплина «Математические модели физической кинетики» входит в учебный план подготовки по направлению **01.04.02. «Прикладная математика и информатика»** специализация **«Математическая физика и математическое моделирование»** иотносится к дисциплинам общенаучного модуля. Дисциплина «Математические модели физической кинетики» является основой для последующего изучения курса «Дополнительные главы математической физики».

Дисциплина изучается на 1 курсе в 1 семестре.

3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 5 зачетных единиц (з.е.), 180 академических часов.

3.1. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в часах)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Семестр** | | | | |
| **№ 1** | | **№ 2** | | **Всего** |
| **Количество часов на вид работы:** | | | | |
| **Контактная работа обучающихся с преподавателем** |  | | | | |
| **Аудиторные занятия *(всего)*** | **32** |  | | **32** | |
| В том числе: |  |  | |  | |
| *лекции* | 16 |  | | 16 | |
| *практические занятия* | 16 |  | | 16 | |
| *лабораторные занятия* |  |  | |  | |
| **Промежуточная аттестация** |  |  | |  | |
| В том числе: |  |  | |  | |
| *зачет* | **-** |  | | **-** | |
| *экзамен* |  |  | |  | |
| **Самостоятельная работа обучающихся *(всего)*** | **148** |  | | **148** | |
| В том числе: |  |  | |  | |
| *проработка учебного (теоретического) материала* | 30 |  | | 30 | |
| *выполнение индивидуальных заданий* | 32 |  | | 32 | |
| *подготовка ко всем видам контрольных испытаний текущего контроля успеваемости (в течение семестра)* | 32 |  | | 32 | |
| *подготовка ко всем видам контрольных испытаний промежуточной аттестации (по окончании семестра)* | 54 |  | | 54 | |
| *Всего (часы):* | **180** |  | | **180** | |
| *Всего (зачетные единицы):* | **5** |  | | **5** | |

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий

(в академических часах)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование раздела /темы дисциплины | Общая трудоём- кость всего  (в часах) | Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость  *(в часах)* | | | | Формы текущего контроля успеваемости |
| Аудиторные учебные занятия | | | СРО |
| Лек | **Сем/Пр** | Лаб |
| 1. | **Раздел 1.** Основные положения кинетической теории газов | **9** | **16** | **16** |  | **148** | Контрольная  работа № 1 |
| 1.1. | Тема 1.1 Вероятность. | 1 | 1 | 2 |  | 4 |  |
| 1.2. | Тема 1.2. Фазовое пространство и теорема Лиувилля | 1 | 1 | 3 |  | 10 |  |
| 1.3. | Тема 1.3. Твердые сферы и жесткие стенки. Средняя длина свободного пробега. | 1 | 1 | 3 |  | 10 |  |
| 1.4. | Тема 1.4. Рассеяние элементарного объема в фазовом пространстве | 1 | 2 | 4 |  | 10 |  |
| 1.5. | Тема 1.5. Временные средние, эргодическая гипотеза и равновесные состояния. | 1 | 2 | 4 |  | 10 |  |
| 2. | **Раздел 2.** Уравнение Больцмана. | **4** | **6** | **6** |  | **30** |  |
| 2.1. | Тема 2.1.  Проблема неравновесных состояний. Уравнения для многочастичных функций распределения в газе из твердых сфер. | 1 | 1 | 2 |  | 10 |  |
| 2.2. | Тема 2.2.  Уравнение Больцмана для газа из твердых сфер. Обобщения.. | 2 | 2 | 2 |  | 10 |  |
| 2.3. | Тема 2.3.  Элементарные свойства оператора столкновений. Инварианты Столкновений. Н-теорема. Необратимость. | 1 | 1 | 2 |  | 10 |  |
| 2.4. | Тема 2.4.  Решение уравнения Q(f, f) = 0 . Связь между микроскопическим и макроскопическим (газодинамическим) описаниями. |  |  |  |  |  |  |
| 2.5. | Тема 2.5.  Необрезанные потенциалы и скользящие столкновения. Уравнение Фоккера — Планка. |  |  |  |  |  |  |
| 3. | **Раздел 3.** Приближенное решение пространственно однородных задач. | **3** | **3** | **6** |  | **12** | Контрольная  работа № 2 |
| 3.1 | Тема 3.1.  Математические модели процессов в физической кинетике. | 2 | 2 | 3 |  | 6 |  |
| 3.2. | Тема 3.2.  Операторы столкновений больцмановского типа. | 1 | 1 | 3 |  | 6 |  |
| 3.3. | Тема 3.3.  Итерационный метод решения пространственно однородной задачи. |  |  |  |  |  |  |
| 3.4. | Тема 3.4.  Регуляризуемые задачи. Сходимость итераций во вложенных пространствах. |  |  |  |  |  |  |
| 3.5. | Тема 3.5.  Разностный метод для уравнения Смолуховского с источником частиц |  |  |  |  |  |  |
| 4. | **Раздел 4.**  Переход соотношения сохранения в соотношение диссипации для пространственно однородного уравнения Смолуховского. |  |  |  |  |  |  |
| 4.1. | Тема 4.1.  Постановка задач. Формулировка основного результата. Формулы для моментов. |  |  |  |  |  |  |
| 4.2. | Тема 4.2.  Стационарное уравнение Смолуховского с источником частиц . |  |  |  |  |  |  |
| 4.3. | Тема 4.3.  Прямое моделирование процесса коагуляции. |  |  |  |  |  |  |
| 5. | **Раздел 5.**  Уравнения с малыми начальными данными. |  |  |  |  |  |  |
| 5.1. | Тема 5.1.  Функциональные пространства и условия согласования операторов столкновения и свободного переноса. Формулировка основных результатов. |  |  |  |  |  |  |
| 5.2. | Тема 5.2.  Свойства интегрального оператора, определенного правой частью нелинейного вольтерровского уравнения. |  |  |  |  |  |  |
| 5.3 | Тема 5.3.  Неотрицательные решения интегрального уравнения. |  |  |  |  |  |  |
| 6. | **Раздел 6.**  Обобщенные решения уравнения Смолуховского пространственно неоднородной коагуляции. |  |  |  |  |  |  |
| 6.1. | Тема 6.1.  Пространственно неоднородная коагуляция. |  |  |  |  |  |  |
| 6.2. | Тема 6.2.  Негладкие особенности решения уравнения Смолуховского в случае дискретных масс. Обобщенное решение кинетического уравнения Смолуховского в случае дискретных масс. |  |  |  |  |  |  |
| 6.3. | Тема 6.3.  Гладкие решения аппроксимирующих задач. |  |  |  |  |  |  |

*Прим.: Лек – лекции, Сем/Пр – семинары, практические занятия, Лаб – лабораторные занятия, СРО – самостоятельная работа обучающихся*

**5. Содержание дисциплины**

**5.1. Лекции**

1.Основные положения кинетической теории газов Основная литература [1] стр.9 (8 час.)

1. Введение. Основная литература [1], стр. 9
2. Вероятность. Основная литература [1] , стр. 12
3. Фазовое пространство и теорема Лиувилля. Основная литература [ 1 ], стр. 14.
4. Твердые сферы и жесткие стенки. Средняя длина свободного пробега. Основная литература [1] , стр. 23

1.5.Рассеяние элементарного объема в фазовом пространстве . Основная литература [1]. стр.29

1.6.Временные средние, эргодическая гипотеза и равновесные состояния. Основная  
литература [ 1 ] стр. 3 5

2. Уравнение Больцмана. Основная литература [1], стр. 51 (8 час.)

1. Проблема неравновесных состояний. Основная литература [1 ] стр. 51
2. Уравнения для многочастичных функций распределения в газе из твердых сфер. Основная литература [1] стр.56
3. Уравнение Больцмана для газа из твердых сфер. Основная литература [1] стр.
4. Обобщения. Основная литература [1] стр. 71

2.6. Элементарные свойства оператора столкновений. Инварианты Столкновений. Н-теорема. Необратимость. Основная литература [1] стр.86,158

2.7. Решение уравнения Q(f, f) = 0 . Основная литература [1] стр. 93

2.8. Связь между микроскопическим и макроскопическим (газодинамическим) описаниями. Основная литература [1] стр.95

2.9. Необрезанные потенциалы и скользящие столкновения. Уравнение Фоккера — Планка Основная литература [1 ] стр. 102

3. Приближенное решение пространственно однородных задач. Основная литература [2] стр. 140 (8 час.)

3.1. Математические модели процессов в физической кинетике. Основная литература [2] стр. 140 (8 час.)

1. Операторы столкновений больцмановского типа. Основная литература [2] стр. 143
2. Итерационный метод решения пространственно однородной задачи. Основная литература [2] стр. 149
3. Регуляризуемые задачи . Основная литература [2] стр.155
4. Сходимость итераций во вложенных пространствах . Основная литература [2] стр. 158
5. Разностный метод для уравнения Смолуховского с источником частиц . Основная литература [2] стр. 163

4. Переход соотношения сохранения в соотношение диссипации для пространственно однородного уравнения Смолуховского. Основная литература [2] стр. 178 (8 час.)

1. Постановка задач. Основная литература [2] стр. 178
2. Формулировка основного результата. Основная литература [2] стр. 182
3. Формулы для моментов (доказательство теоремы 5.2). Основная литература [2] стр.187 4. Доказательство теоремы 5.1 . Основная литература [2] стр. 190

4. 5. Стационарное уравнение Смолуховского с источником частиц . Основная литература [2] стр.198

4.6. Прямое моделирование процесса коагуляции. Основная литература [2] стр.

5. Уравнения с малыми начальными данными. Основная литература [2] стр.

1. Функциональные пространства и условия согласования операторов столкновения и свободного переноса. Основная литература [2] стр. 209 (8 час.)
2. Формулировка основных результатов. Основная литература [2] стр. 211

5.3. Свойства интегрального оператора, определенного правой частью нелинейного вольтерровского уравнения. Основная литература [2] стр.

5.4. Доказательство теоремы 6.1 . Основная литература [2] стр. 220

5.5. Неотрицательные решения интегрального уравнения.

Доказательство теоремы 6.2 . Основная литература [2] стр.222

6. Обобщенные решения уравнения Смолуховского пространственно неоднородной коагуляции. Основная литература [2] стр.

6.1. Пространственно неоднородная коагуляция. Основная литература [2] стр.

6.2. Негладкие особенности решения уравнения Смолуховского в случае дискретных масс. Основная литература [2] стр.228.

6.3. Обобщенное решение кинетического уравнения Смолуховского в случае дискретных масс. Основная литература [2] стр. 236

6.4. Гладкие решения аппроксимирующих задач.

6.5. Слабая непрерывность произведения функций. Основная литература

**5.2. Практические и семинарские занятия**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Раздел (ы) | Тема практического или семинарского занятия | Число часов |
| 1 | Основные положения кинетической теории газов. | 1 |
| 2 | Уравнение Больцмана. | 3 |
| S  *5* | Приближенное решение пространственно однородных задач. | 2 |
| 4 | Переход соотношения сохранения в соотношение диссипации | 1 |
| 5 | Уравнения с малыми начальными данными. | 4 |
| 6 | Обобщенные решения уравнения Смолуховского | 5 |

3.3. Лабораторный практикум

Не предусмотрен

3.4. Курсовые проекты (работы)

Не предусмотрены

**3.6. Самостоятельная работа (35 час)**

Функциональные решения систем законов сохранения

Литература [2] стр. 287 -303

Форма контроля- доклады студентов и рефераты

**4.1. Рекомендуемая литература**

4.1.1. Основная литература

1. К. Черчиньяни Теория и приложения уравнения Больцмана – М. Наука, 2005 (имеется в библиотеке ИАТЭ, 25 экз.)
2. Галкин В.А. Уравнение Смолуховского. – М. Физматлит, 2001 (имеется в библиотеке ИАТЭ, 25 экз.)

4.1.2. Дополнительная литература

1. В.А. Галкин "Дополнительные главы функционального анализа" - Обнинск. 1997

4.2. Средства обеспечения освоения дисциплины

Не предусмотрены

**5. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Не предусмотрены.