

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Теоретические основы проекционного метода
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра моделирования ядерных процессов и технологий
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ф.Г. Черемисин, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры моделирования ядерных процессов и технологий 18.05.2020

Аннотация

Студенты, изучающие курс «Теоретические основы проекционного метода», должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен иметь основные представления о физических процессах, лежащих в основе кинетической теории Больцмана, уметь задавать граничные условия для различных задач кинетической теории, рассчитывать и анализировать газокинетические процессы переноса, рассчитывать основные физические характеристики газокинетических процессов, знать области применения компьютерного моделирования к Кнудсеновским микронасосам различного типа. Студент должен овладеть проекционным методом вычисления интеграла столкновений уметь на основе этого подхода создавать компьютерные модели для описания газокинетических процессов. в микроустройствах.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомить студентов с математическими основами кинетического уравнения Больцмана, H-теоремой;
- дать краткий обзор модельных уравнений;
- ввести понятие безразмерных величин;
- детально ознакомить студентов с консервативным проекционным методом как для одноатомного газа, так и для смесей газов с различными молекулярными массами.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики переноса массы и энергии на основе кинетического уравнения Больцмана;
- обучение студентов основным методам и подходам, используемым в кинетической теории, изучение базовых принципов кинетической теории, основанной на уравнении Больцмана;
- формирование подходов, основанных на конечно-разностных аппроксимациях оператора адвекции кинетического уравнения, расщепление кинетического уравнения по физическим процессам. Дискретная реализация начальных и граничных условий.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины

ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы и методы кинетической теории Больцмана, получения когерентного излучения, физические явления, лежащие в основе методов переноса газов и излучений в сложных средах и композициях.

уметь:

- численно решать кинетическое уравнение.

владеть:

- методами компьютерного моделирования газокинетических процессов, методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение.	5			5
2	Кинетическое уравнение Больцмана.	5			5
3	Консервативный проекционный метод вычисления интеграла столкновений Больцмана для простого газа.	5			5
4	Консервативный проекционный метод для газа с внутренними степенями свободы.	5			5
5	Консервативный проекционный метод для смеси газов.	5			5
6	Численное решение кинетического уравнения Больцмана.	5			5
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Введение.

Введение в дисциплину.

2. Кинетическое уравнение Больцмана.

Свойства кинетического уравнения Больцмана.

Симметрия.

H-теорема.

Линеаризованное уравнение Больцмана.

Модельные уравнения.

Безразмерные переменные.

Уравнение Больцмана для смеси газов.

Уравнение Больцмана для газа с внутренними степенями свободы.

3. Консервативный проекционный метод вычисления интеграла столкновений Больцмана для простого газа.

Дискретизация по скоростному пространству.

Столкновение молекул.

Методы интегрирования. Оптимальные коэффициенты Коробова. Сетки Коробова.

Методика проецирования и интерполирования.

Дискретизация по времени. Схема Эйлера. Схемы второго порядка. Схема непрерывного счета.

Учет потенциала взаимодействия молекул.

Тестирование реализации метода. Задача теплопроводности. Структура ударной волны.

4. Консервативный проекционный метод для газа с внутренними степенями свободы.

Расчет сечений столкновений двухатомных молекул с учетом вращательных степеней свободы.

Проекционный метод.

Практическая часть.

5. Консервативный проекционный метод для смеси газов.

Двухточечный проекционный метод.

Многоточечный проекционный метод.

Практическая часть.

6. Численное решение кинетического уравнения Больцмана.

Расщепление.

Уравнение переноса.

Уравнение однородной релаксации.

Практическая часть на примере ВГК модели.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная рабочими станциями, объединенными в сеть.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Динамика разреженного газа. Кинетическая теория [Текст]/М. Н. Коган, -М., Наука, 1967

2. К. Черчиньяни. Теория и приложения уравнения Больцмана. — М.: Мир, 1978. — 496 с.
3. Ф. Г. Черемисин. Решение кинетического уравнения Больцмана для высокоскоростных течений. — ЖВМ и МФ, 2006. — Т. 46, № 2. — С. 329–343.
4. A. A. Raines, F. G. Tcheremissine. Structure of shock waves. In: High temperature phenomena in shock waves. — Berlin-Heidelberg: Springer, 2012. — V. 7 (7). — P. 231–269.
5. Ф. Г. Черемисин. Решение кинетического уравнения Больцмана для многоатомного газа. — ЖВМ и МФ, 2012. — Т. 52, № 2. — С. 270–287.

Дополнительная литература

1. Математическая теория неоднородных газов [Текст] = The mathematical theory of non-uniform gases, монография/С. Чепмен, Т. Каулинг, -М, Изд-во иностр. лит., 1960
2. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery. Numerical Recipes. The art of scientific computing. Third Edition. — N. Y.: Cambridge, 2007. — p. 1235.
3. Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. Молекулярная теория газов и жидкостей — М.: Изд. ин. лит., 1961. — 930 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтеха

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающиеся используют такие информационные технологии как GMSH, MPI, OpenGL.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студенты, изучающие курс «Теоретические основы проекционного метода» должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен иметь основные представления о физических процессах, лежащих в основе кинетической теории Больцмана, уметь задавать граничные условия для различных задач кинетической теории, рассчитывать и анализировать газокинетические процессы теплопереноса, рассчитывать основные физические характеристики газокинетических процессов, знать области применения компьютерного моделирования к Кнудсеновским микронасосам различного типа. Студент должен овладеть проекционным методом вычисления интеграла столкновений уметь на основе этого подхода создавать компьютерные модели для описания газокинетических процессов. в микроустройствах. Показателем владения материалом служит умение решать задачи и ориентироваться в круге вопросов, связанных с проблемами течений неразрезанного газа в микроструктурах. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо разработка программ и алгоритмов численного решения уравнения Больцмана.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра моделирования ядерных процессов и технологий
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Ф.Г. Черемисин, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теоретические основы проекционного метода» обучающийся должен:

знать:

- принципы и методы кинетической теории Больцмана, получения когерентного излучения, физические явления, лежащие в основе методов переноса газов и излучений в сложных средах и композициях.

уметь:

- численно решать кинетическое уравнение.

владеть:

- методами компьютерного моделирования газокинетических процессов, методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Свойства кинетического уравнения Больцмана.

2. Симметрия.
3. Н-теорема.
4. Линеаризованное уравнение Больцмана.
5. Модельные уравнения.
6. Безразмерные переменные.
7. Уравнение Больцмана для смеси газов.
8. Уравнение Больцмана для газа с внутренними степенями свободы.
9. Расщепление.
10. Уравнение однородной релаксации.
11. Дискретизация по скоростному пространству.
12. Столкновение молекул.
13. Методы интегрирования.
14. Оптимальные коэффициенты Коробова. Сетки Коробова.
15. Методика проецирования и интерполирования.
16. Дискретизация по времени. Схема Эйлера.
17. Схемы второго порядка. Схема непрерывного счета.
18. Учет потенциала взаимодействия молекул.
19. Тестирование реализации метода.
20. Задача теплопроводности. Структура ударной волны.
21. Двухточечный проекционный метод.
22. Многоточечный проекционный метод.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Методика проецирования и интерполирования.
2. Дискретизация по времени. Схема Эйлера.

Билет 2.

1. Схемы второго порядка. Схема непрерывного счета.
2. Учет потенциала взаимодействия молекул.

Билет 3.

1. Тестирование реализации метода.
2. Задача теплопроводности. Структура ударной волны.

Билет 4.

1. Двухточечный проекционный метод.
2. Многоточечный проекционный метод.

Критерии оценивания

Обучающемуся ставится оценка в соответствии с продемонстрированным уровнем подготовки; оценивание производится на усмотрения экзаменатора в соответствии с особенностями дисциплины и следующими критериями:

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.