

|  |  |             |  |
|--|--|-------------|--|
| <b>МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</b>                                       |  |             |  |
| Федеральное государственное автономное образовательное учреждение                                  |  |             |  |
| высшего образования  |  |             |  |
| «Московский физико-технический институт (государственный университет)»                             |  |             |  |
| <b>МФТИ</b>  |  |             |  |
| <b>«УТВЕРЖДАЮ»</b><br>Проректор по учебной и методической работе<br>Зубцов Д.А.<br>« » _____ 20 г. |  |             |  |
| <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>   |  |             |  |
| <b>по дисциплине:</b>  | Вычислительные методы экспериментальной и теоретической физики |             |  |
| <b>по направлению:</b>   | 03.03.01 - Прикладные математика и физика (бакалавриат)        |             |  |
| <b>профиль подготовки/ магистерская программа</b>  | Современные проблемы физики и энергетики                       |             |  |
| <b>факультет:</b>  | проблем физики и энергетики                                    |             |  |
| <b>кафедра:</b>  | Прикладной физики  |             |  |
| <b>курс:</b>   | 4  |             |  |
| <b>квалификация:</b>   | бакалавр   |             |  |
| <b>Программу составил:</b>   | Иванов М.Ф., доктор физико-математических наук, профессор.     |             |  |
| <b>Программа обсуждена на заседании кафедры</b>  |  |             |  |
|  |  |             |  |
| <b>СОГЛАСОВАНО:</b>  |  |             |  |
| Заведующий кафедрой  |  | Леонов А.Г. |  |
| Декан факультета проблем физики и энергетики   |  | Леонов А.Г. |  |
| Начальник учебного управления  |  |             |  |

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

### Цель дисциплины

Целью дисциплины «Вычислительные методы экспериментальной и теоретической физики» является формирование базовых знаний по основам вычислительных методов, используемых при математическом моделировании широкого круга физических процессов и численного анализа результатов физических экспериментов.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области вычислительных методов, используемых при математическом моделировании физических процессов и численного анализа результатов физических экспериментов;
- приобретение студентами знаний в области компьютерного моделирования сложных физических процессов;
- оказание консультаций и помощи студентам при освоении вычислительных методов и построения математических моделей;
- приобретение навыков компьютерного моделирования при исследованиях широкого круга физических процессов;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения сложных физических задач и самостоятельного анализа полученных результатов.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр: 7 (Осенний)

### 1. Основные свойства конечно-разностных схем. Погрешности при переходе к конечно-разностным схемам.

Знакомство с основными свойствами (аппроксимация, сходимость, устойчивость) конечно-разностных схем на примере простейшего уравнения переноса  $Ut+cU_x=0$ . Явные и не явные схемы, схемы предиктор-корректор, трехуровневые схемы, схема Лакса-Вендрова. Определение устойчивости схем по Нейману. Критерий Куранта.

Вычислительная вязкость и вычислительная дисперсия. Оценка вычислительных вязкостей и дисперсий. Искажения фазовых и групповых скоростей. Нарушение принципа причинности. Схемы против потока, сохраняющие принцип причинности

### 2. Методы решения уравнений газовой динамики в лагранжевых координатах.

Лагранжевое и эйлеровое представление уравнений газовой динамики. Явные и неявные схемы решения одномерных уравнений газовой динамики в лагранжевых координатах. Метод «Крест». Консервативные и дивергентные схемы. Нарушение закона сохранения полной энергии в неконсервативных схемах. Полностью консервативные схемы решения уравнений газовой динамики. Схемы решения многомерных уравнений газовой динамики в лагранжевых координатах.

### 3. Методы решения уравнений газовой динамики со скачками.

Метод характеристик. Ударные волны и волны разряжения в газовой динамике. Условия на газодинамических скачках. Сквозной расчёт течений с газодинамическими скачками. Понятие об искусственной вязкости. Критерий Куранта для газодинамических задач.

### 4. Методы решения задач газовой динамики в эйлеровых координатах.

Метод Годунова. Решение уравнений газовой динамики методом конечных объемов. Лагранжево-эйлеровые схемы. Метод расщепления для решения уравнений несжимающей жидкости.

### 5. TVD – схемы и TVD технологии.

TVD – схемы и схемы с заданными свойствами. Построение TVD – схемы методом регуляризации. Сеточно-характеристический метод

#### **6. Методы частиц для решения задач газовой динамики.**

Метод частиц в ячейках Харлоу для уравнений газовой динамики. Расчёт многокомпонентных сред. Специфические свойства метода частиц в ячейках. Метод «крупных» частиц. Расчёт в смежных ячейках. Метод сглаженных частиц для решения задач о высокоскоростных контактных взаимодействиях (SPH - метод).

Семестр: 8 (Весенний)

#### **7. Методы частиц для решения задач физики высокотемпературной плазмы.**

Решение кинетического уравнения Власова для высокотемпературной плазмы методом частиц в ячейках (PIC – метод). Решение уравнения Власова методом облаков в ячейках. Вариационный метод построения схем с заданными свойствами для решения уравнений Власова.

#### **8. Стохастические методы решения уравнения диффузионного типа.**

Метод решения кинетического уравнения Фоккера-Планка путём перехода к системе стохастических уравнений Ланжевена. Численные методы решения стохастических уравнений в статистике Ито и статистике Стратоновича.

#### **9. Решение задач переноса методом Монте-Карло.**

Математическая постановка задачи и идея метода Монте-Карло. Модели полевых и пробных частиц. Статистическая модель столкновения частиц. Расчёт макроскопических характеристик среды.

#### **10. Моделирование физических процессов методом молекулярной динамики.**

Уравнения динамики частиц. Потенциал межчастичных взаимодействий. Метод Верле решения уравнений динамики. Расчёт макроскопических характеристик среды.

#### **11. Компьютерная обработка результатов измерений в экспериментальной физике.**

Дискретизация сигналов. Теорема Котельникова. Погрешность дискретизации и восстановление сигналов по отсчётам. Разложение сигналов по конечномерному ортогональному базису. Поэлементное квантование.

#### **12. Элементы теории оценки параметров и теории испытания статистических гипотез.**

Оценка параметров наблюдений. Построение доверительных интервалов. Установление корреляционных связей. Теория испытания статистических гипотез. Проверка гипотез о равенстве математических ожиданий, о равенстве дисперсий, о резко выделяющихся наблюдениях. Проверка гипотезы о подчинении исходных случайных величин заданному закону распределений.

#### **13. Применения метода регуляризации Тихонова для решения обратных задач анализа измерений.**

Связь между наблюдаемыми и реальными физическими параметрами. Некорректность решения обратных задач. Метод регуляризации по Тихонову.

#### **Основная литература**

1. Федоренко Р.П. Введение в вычислительную физику. М.: МФТИ, 1994.(2-е издание. М.: Интеллект,2008).
2. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные схемы газовой динамики. М.: Наука, 1992.(5-е издание. М.: ЛИБРОКОМ,2009).
3. Григорьев Ю.Н., Вшивков В.А., Федорук М.П. Численное моделирование методами частиц в ячейках. Новосибирск: СО РАН, 2004.
4. Жигулёв В.Н., Папков С.Б. Математическое моделирование и физический эксперимент. М.: МФТИ, 2001.
5. Головицкий А.П., Обратные задачи экспериментальной физики. С.-Петербург: СПбГТУ, 2001.

### **Дополнительная литература**

1. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц. М.: Наука, 1982.
2. Магамедов К.М., Холодов А.С. Сеточно-характеристические численные методы. М.: Наука, 1988.
3. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975.
4. Гулд Х., Табачник Я. Компьютерное моделирование в физике. М.: Мир, 1990.

### **Пособия и методические указания.**

Иванов М.Ф., Гальбурт В.А. // Учебное пособие «Численное моделирование динамики газов и плазмы методом частиц». М.: Изд. МФТИ, 2000.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Вычислительные методы экспериментальной и теоретической физики» осуществляется в устной форме.

### **Перечень контрольных вопросов:**

1. Устойчивость, аппроксимация и сходимость схемы Эйлера, неявной схемы и схемы трапеций для простейшего уравнения переноса.
2. Устойчивость схем предиктор-корректор для простейшего уравнения переноса.
3. Устойчивость трёхслойной схемы для простейшего уравнения переноса.
4. Построение трёхслойных схем. Физическая и вычислительная моды.
5. Схемная вязкость и дисперсия разностных схем.
6. Дисперсионные свойства для неявной схемы применительно к уравнению адвекции.
7. Схемная вязкость для неявной схемы применительно к уравнению адвекции.
8. Точность и вычислительная вязкость схемы Лакса-Вендроффа для уравнения адвекции.
9. Разностная схема «против потока» и её связь с характеристиками для уравнения адвекции.
10. Эйлеровые и лагранжевые координаты.
11. Искусственная вязкость.
12. Критерий Куранта.
13. Дивергентные и консервативные схемы.
14. Схема «крест» для уравнений гидродинамики, несохранение полной энергии для недивергентной схемы.
15. Полностью консервативная схема для уравнений гидродинамики.
16. Решение уравнений гидродинамики методом характеристик.
17. Сеточно-характеристический метод.
18. Метод «крупных» частиц.
19. Метод Годунова.
20. Построение многомерных лагранжевых схем.
21. Решение уравнений газовой динамики методом контрольных объемов.
22. Метод частиц в ячейке для уравнений газовой динамики (метод Харлоу).
23. Метод сглаженных частиц (SPH-метод).
24. Построение TVD-схем с применением метода регуляризации.
25. Построение TVD-схем путём ограничения полной вариации.
26. Построение схем с заданными свойствами. Требование минимальной аппроксимационной вязкости.
27. Построение схем с заданными свойствами. Требование монотонности.
28. Метод расщепления в применении к решению задач динамики несжимаемой жидкости.

29. Нелинейное уравнение теплопроводности и численный метод его решения. Метод прогонки.
30. Реализация разностной схемы уравнений газовой динамики с теплопроводностью. Метод итераций.

Примеры контрольных заданий:

1. Решение хаотических дифференциальных уравнений на примере распространения примесей в турбулентной среде.
2. Построить TVD-схему для уравнений газовой динамики идеального газа.

**Примеры билетов:**

Билет №1.

- 1) Метод частиц в ячейке для бесстолкновительной плазмы.
- 2) Построение TVD – схем методом регуляризации.

Билет №2.

- 1) Метод Годунова для уравнений гидродинамики.
- 2) Численное решение стохастических уравнений.

Билет №3.

- 1) Метод Монте–Карло для решения задач динамики разреженного газа.
  - 2) Испытание статистических гипотез. Метод Пирсона.
-