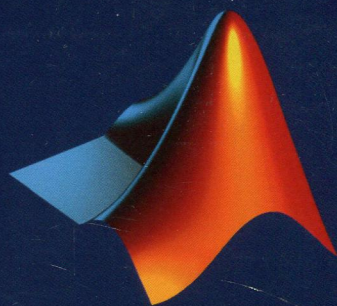


С. В. Поршнеv



КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И СИСТЕМ В ПАКЕТЕ

MATLAB



С. В. Поршнев

КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И СИСТЕМ В ПАКЕТЕ

МАТЛАВ

Рекомендовано Методическим советом Уральского федерального университета (УрФУ) в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям:

09.03.01 – Информатика и вычислительная техника;

09.03.02 – Информационные системы и технологии;

09.03.03 – Прикладная информатика; 09.03.04 – Программная инженерия;

10.03.01 – Информационная безопасность; 10.05.01 – Компьютерная безопасность;

10.02.01 – Информационная безопасность телекоммуникационных систем;

10.05.04 – Информационно-аналитические системы безопасности

МОСКВА

ГОРЯЧАЯ ЛИНИЯ – ТЕЛЕКОМ

2023

УДК 53:004.94(075.8)

ББК 22.3в6

П60

Рецензенты:

доктор техн. наук, профессор *А. А. Захаров*
(ТюмГУ — Тюменский государственный университет);

доктор техн. наук, профессор *Е. В. Никульчев*
(МИРЭА — Российский технологический университет)

Поршнеv С. В.

П60 Компьютерное моделирование физических процессов и систем в пакете MATLAB. Учебное пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2023. — 808 с: ил.

ISBN 978-5-9912-0884-0.

Книга посвящена обучению основам компьютерного моделирования физических процессов. Каждая глава содержит теоретический материал, описание математических методов, используемых для построения компьютерных моделей физических процессов, а также задачи для самостоятельного решения. В качестве базового программного продукта используется пакет MATLAB. В книге обобщен опыт преподавания автором ряда дисциплин для бакалавров, магистров и специалистов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям укрупненных групп специальностей 09.00.00 — «Информатика и вычислительная техника», 10.00.00 — «Информационная безопасность» в Уральском федеральном университете. К книге прилагается электронное приложение доступное для скачивания на сайте издательства, содержащее программные реализации каждой из рассмотренных в ней компьютерных моделей, реализованных автором на внутреннем языке пакета MATLAB в виде m-файлов и m-функций.

Для студентов вузов, обучающихся по специальностям математика, информатика, физика, может быть полезна преподавателям соответствующих дисциплин и специалистам.

ББК 22.3в6

ISBN 978-5-9912-0884-0

© С. В. Поршнеv, 2020, 2023

© Издательство «Горячая линия — Телеком», 2023

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Моделирование относительных движений в классической механике	8
1.1. Построение орбиты Луны в гелиоцентрической системе отсчета ..	9
1.2. Построение орбиты Марса в системе отсчета, связанной с Землей	16
1.3. Моделирование относительных линейных движений	21
Литература к главе 1	46
Глава 2. Физические процессы, описываемые дифференциальными уравнениями первого порядка	47
2.1. Моделирование остывания нагретых тел	47
2.2. Алгоритм Эйлера	48
2.3. Программа для решения дифференциальных уравнений первого порядка методом Эйлера	49
2.4. Оценка коэффициента остывания по экспериментальным результатам	52
2.5. Решение дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка	62
2.6. Моделирование радиоактивного распада	65
2.7. Моделирование цепной реакции ядерного взрыва	65
2.8. Литература к главе 2	67
Глава 3. Динамика материальной точки	68
3.1. Общая постановка задачи математического описания динамики материальной точки	68
3.2. Движение тел в гравитационной поле без учета трения	69
3.3. Движение в гравитационном поле земли с учетом силы трения ..	74
Литература к третьей главе	78
Глава 4. Задача Кеплера	79
4.1. Уравнения движения планет	79
4.2. Численное моделирование орбиты	83
4.3. Проверка второго закона Кеплера	86
4.4. Пространство скоростей	93
4.5. Моделирование Солнечной системы	95
Литература к четвертой главе	97

Глава 5. Моделирование статических электрических и магнитных полей	98
5.1. Электростатическое поле системы неподвижных электрических зарядов	98
5.2. Магнитное поле витка с постоянным током	107
5.3. Магнитное поле соленоида с постоянным током	114
5.4. Магнитное поле тороидальной обмотки с постоянным током	134
5.5. Численное решение уравнений Лапласа и Пуассона	141
5.6. Литература к главе 5	154
Глава 6. Моделирование движения электрических зарядов в постоянных электрических и магнитных полях	156
6.1. Постановка задачи	156
6.2. Рассеивание частиц в центральном поле. Опыт Резерфорда	157
6.3. Моделирование движения электрических зарядов в постоянном магнитном поле	168
6.4. Моделирование движения электрических зарядов в постоянных электрических и магнитных полях	173
6.5. Моделирование движения электрических зарядов в неоднородном магнитном поле	176
6.6. Моделирование движения заряда в сложных электростатических полях	194
Литература к главе 6	202
Глава 7. Фурье-анализ непрерывных и дискретных функций	203
7.1. Ряды Фурье: от решение уравнения теплопроводности к использованию для анализа функций, зависящих от времени	203
7.2. Разложение периодических сигналов в ряды Фурье	208
7.3. Эффект Гиббса	211
7.4. Спектральный анализ непрерывных функций	215
7.5. Спектральный анализ дискретных функций	218
7.6. Спектральный анализ дискретных функций конечной длительности	221
7.7. Быстрое преобразование Фурье	224
7.8. Влияние длины интервала анализа на точность измерения частоты монохроматического сигнала	228
Литература к главе 7	235
Глава 8. Моделирование колебательных процессов	236
8.1. Линейный гармонический осциллятор	236
8.2. Математический маятник	240
8.3. Затухающие колебания	244
8.4. Вынужденные колебания линейного гармонического осциллятора	245
8.5. Двойной плоский маятник	247

8.6. Маятники с осциллирующей точкой подвеса	256
8.6.1. Компьютерное моделирование математического маятника с точкой подвеса, совершающей горизонтальные гармонические колебания	256
8.6.2. Математическая модель маятника с точкой подвеса, совершающей вертикальные гармонические колебания	259
8.6.3. Математическая модель маятника с точкой подвеса, совершающей движение по окружности	263
8.7. Моделирование колебательной химической реакции	266
Литература к главе 8	287
Глава 9. Моделирование волновых явлений	288
9.1. Моделирование свободных колебаний цепочки связанных линейных осцилляторов	288
9.2. Моделирование свободных колебаний цепочки связанных нелинейных осцилляторов. Задача Ферми-Паста-Улама	307
9.3. Моделирование вынужденных колебаний цепочки связанных осцилляторов	334
9.4. Моделирование волновых движений	356
9.5. Фурье-анализ волновых пакетов, движущихся в среде с дисперсией	361
9.6. Моделирование явлений интерференции и дифракции	372
9.7. Геометрическая оптика	382
9.8. Поляризация	386
9.9. Солитоны	389
Литература к главе 9	
Глава 10. Моделирование систем, состоящих из большого числа частиц, методом молекулярной динамики	399
10.1. Математическая модель статистической системы	399
10.2. Численный алгоритм решения системы уравнений движения	401
10.3. Моделирование методом молекулярной динамики системы, состоящей из большого числа частиц	405
10.4. Оценка макроскопических характеристик статистической системы	415
10.5. Оценка коэффициентов переноса методом молекулярной динамики	421
10.6. Моделирование фазовых переходов методом молекулярной динамики	
10.7. Основные итоги	428
Литература к главе 10	428
Глава 11. Метод Монте-Карло	439
11.1. Численные методы интегрирования функций, зависящих от одной переменной	429
11.2. Основы метода Монте-Карло	432

11.3. Алгоритм генерации случайных чисел с равномерным законом распределения.....	442
11.4. Алгоритм Метрополиса.....	444
Литература к главе 11.....	448
Глава 12. Случайные блуждания.....	449
12.1. Одномерные случайные блуждания.....	449
12.2. Метод случайных блужданий на плоскости.....	458
12.3. Моделирование движения решеточного газа.....	473
12.4. Непрерывная модель случайных блужданий.....	477
12.5. Случайные блуждания в одномерной односторонне ограниченной области.....	479
12.5.1. Теоретический анализ случайных блужданий в одномерной односторонне ограниченной области.....	479
12.5.2. Моделирование случайных блужданий в одномерной односторонне ограниченной области.....	489
12.6. Случайные блуждания в одномерной ограниченной с обеих сторон области рассеяния.....	500
12.6.1. Теоретический анализ случайных блужданий в одномерной ограниченной с обеих сторон области рассеяния.....	500
12.6.2. Сравнение распределения случайной величины с ограниченной с обеих сторон областью рассеяния и усеченного нормального распределения.....	512
12.6.3. Моделирование случайных блужданий в ограниченной с обеих сторон области рассеяния.....	517
Литература к главе 12.....	525
Глава 13. Моделирование статистической системы в процессе релаксации и состоянии равновесия.....	527
13.1. Моделирование процесса релаксации статистической системы....	527
13.2. Энтропия.....	535
Литература к главе 13.....	541
Глава 14. Компьютерное моделирование микроканонического ансамбля методом Монте-Карло.....	543
14.1. Микроканонический ансамбль.....	543
14.2. Моделирование микроканонического ансамбля.....	544
14.3. Модель Изинга.....	551
Литература к главе 14.....	566
Глава 15. Моделирование канонического ансамбля методом Монте-Карло.....	567
15.1. Канонический ансамбль.....	567
15.2. Алгоритм Метрополиса для канонического ансамбля.....	568
15.3. Моделирование двумерной модели Изинга методом канонического ансамбля.....	578

Литература к главе 15	589
Глава 16. Моделирование квантовых систем	591
16.1. Методы численного решения стационарного уравнения Шредингера	593
16.2. Моделирование колебаний двухатомной молекулы в квазиклассическом приближении	602
16.3. Нестационарное уравнение Шредингера	616
16.4. Оценка энергии основного состояния квантовой системы методом Монте-Карло	626
16.5. Оценка энергии основного состояния квантовой системы вариационными методами Монте-Карло	633
Литература к главе 16	639
Глава 17. Моделирование фрактальных объектов	641
17.1. Избранные понятия фрактальной геометрии	641
17.2. Рекурсивный алгоритм построения фрактальных объектов	643
17.3. L-системы и терл-графика	649
17.4. Системы итерированных функций	659
17.5. Методы оценки фрактальной размерности	
17.6. Простые числа, простые числа-близнецы, скатерть Улама и фрактальная размерность	680
17.6.1. Решето Эратосфена	681
17.6.2. Скатерть Улама	685
17.6.3. Алгоритм визуализации скатерти Улама в декартовой системе координат и его программная реализация	687
17.6.4. Анализ спирали Улама в полярной системе координат	690
17.6.5. Простые числа-близнецы	695
17.6.6. Анализ распределения простых чисел-близнецов на скатерти Улама в полярной системе координат	698
17.6.7. Анализ свойств первых разностей twin-чисел	700
17.6.8. Некоторые итоги изучения свойств спирали Улама простых и простых чисел-близнецов на скатерти Улама	703
17.7. Множество Жюлиа и множество Мандельброта	704
17.7.1. Множество Жюлиа	704
17.7.2. Орбиты в множествах Жюлиа	710
17.7.3. Множество Мандельброта	713
17.8. Фрактальное броуновское движение	717
17.8.1. Фрактальные свойства случайных блужданий в одномерной неограниченной области рассеяния	717
17.8.2. Алгоритмы случайного срединного смещения	720
17.8.3. Свойства фрактального броуновского движения	725
17.8.4. Алгоритмы генерации фрактального броуновского движения	729
17.8.5. Методы оценивания показателя Херста H фрактального броуновского движения	735

17.8.6. Программный инструмент MATLAB для оценки показателя Херста H ФБД	746
17.8.7. Некоторые итоги анализа методов оценивания показателей Херста H фрактального броуновского движения	755
Литература к Главе 17	756
Приложения	758
А. Основные приемы работы с пакетом MATLAB	758
А.1. Введение в пакет MATLAB	758
А.2. Работа в командном окне	769
А.3. Редактирование и повторный вызов командной строки	771
А.4. Создание матриц	772
А.5. Операции, выражения и переменные	775
А.6. Операции с массивами	776
А.7. Сохранение данных из рабочей области	777
А.8. Операторы FOR, WHILE, IF, CASE и операторы отношения	777
А.9. Условия (операторы отношения)	779
А.10. Функции MATLAB	780
В. М-файлы	782
В.1. Файлы и программы	782
В.2. Работа с М-файлами	786
С. Создание графического интерфейса пользователя	791
D. Оценка погрешностей численного интегрирования	800