

HUNDUN FENXING

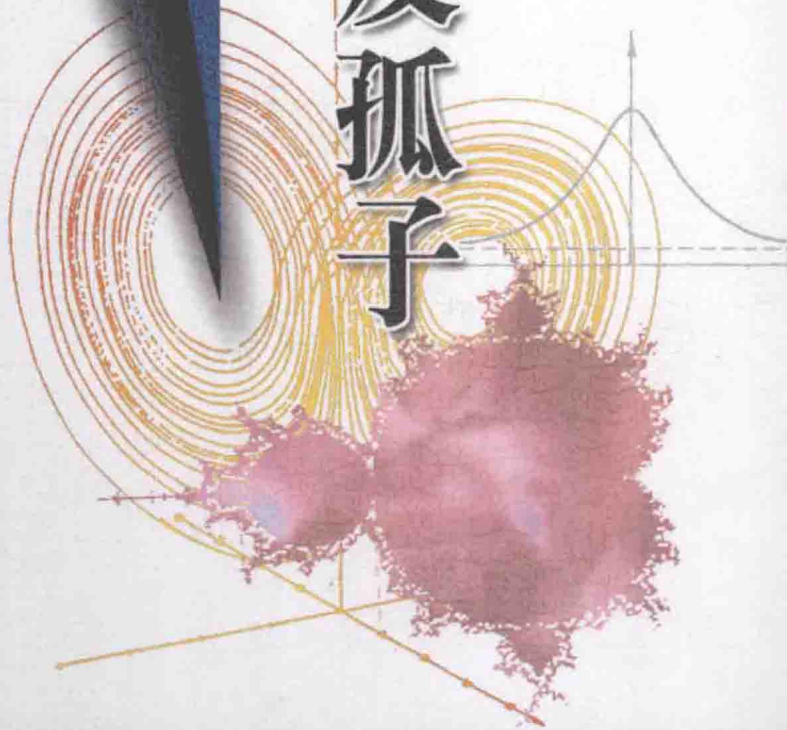
JIGUZI

张祖全 主编

武汉出版社

混沌、分形及孤子

江汉大学学术丛书 JIANGHAN UNIVERSITY ACADEMIC LIBRARY



(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

混沌、分形及孤子/张祖全主编. —武汉:武汉出版社,2004. 8
(江汉大学学术丛书)

ISBN 7-5430-3044-6

I. 混… II. 张… III. ①混沌学②分形学③孤立子

IV. 0415. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 021393 号

书 名:混沌、分形及孤子

主 编:张祖全

责任编辑:吕植壮

封面设计:吴 涛

出 版:武汉出版社

社 址:武汉市江汉区新华下路 103 号 邮 编:430015

电 话:(027)85606403 85600625

印 刷:武汉中远印务有限公司 经 销:新华书店

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:12.625 字 数:316 千字 插 页:7

版 次:2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

印 数:0001-1100 册

ISBN 7-5430-3044-6/O·16

定 价:30.00 元

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

《江汉大学学术丛书》编辑委员会

主任：李进才

副主任：桑建平 涂文学 余来宁

委员(按姓氏笔划为序)：

王心耀	邓正兵	刘丽江
张先松	李霞	欧阳仲威
范超毅	涂文学	徐盛林
徐蕴珍	秦汉明	钱同惠
梁东	童辛生	蒋细旺
雷万忠	黎仰安	

主要作者简介

张祖全:男,1944年11月生,湖北公安人。1964年毕业于华中师范大学物理系。现任江汉大学物理与信息工程学院教授,主要从事理论物理、非线性物理、天体物理等领域的研究。先后在国内核心刊物上发表科研论文30余篇,主持完成省、市科技攻关项目2项,均达到国内领先水平。曾任国家教委世界银行贷款第二项目电类设备大组长,主持撰写英文标书20余万字符,任10项进口设备的首席主谈。

内 容 提 要

混沌、分形、孤子是非线性科学的重要组成部分。本书集中讲述了当代非线性科学发展的理论及其在前沿科学领域中的最新成就和进展,涉及物理学、数学、天文学、生物学、生命科学、空间科学、气象学、生态学、经济学、社会学、音乐和艺术等学科领域。全书共7章,内容包括:从线性科学到非线性科学,非线性系统的主要特征及形态,混沌、分形、孤子的理论及其有机联系、应用成果和发展方向。本书附录提供了上机实践的VB源程序。本书可供理工科大学教师、高年级学生、研究生阅读,也可供自然科学和工程技术领域中的研究人员参考。

Abstract

Chaos, fractal and soliton are the important parts of the non-linear science. This book involving the fields of physics, mathematics, astronomy, biology, life sciences, space sciences, aerography, ecology, economics, sociology, music, and art illustrates the theory of current non-linear science and the latest achievement and development of leading sciences. There are seven chapters in this book including "from linear science to non-linear science", "the essential feature and shape of non-linear system", "the theory of chaos, fractal and soliton and their application and development". There are several VB source programs in the appendix. It is a book for teachers and students of universities of science and technology as well as researchers in the field of engineering.

《江汉大学学术丛书》

总 序

在我们跨入人类又一个新千年的时刻，白云黄鹤的武汉终于迎来了一所将与武汉特大中心城市地位相称的地方一流综合性大学——江汉大学。

在我国高等教育布局中，武汉是个高校林立、人文及科技精英荟萃的重镇，以武汉大学、华中科技大学为代表的高等院校享誉国内外。江汉大学在这样的时空环境中建立，面临的挑战，肩负的重任是不言而喻的。

要建成一所名副其实的地方一流综合性大学，需要的条件很多：好的校长，一批高水平的教授，好的校园环境及设施，高水平的教学和管理等。但是，不可否认，最重要的方面之一是源源不断的、紧跟时代学术潮流的高质量科研成果。

这里的《江汉大学学术丛书》是江大学人为中国高等教育面向世界、面向未来、面向现代化的一份微薄奉献，是对人民期望的回报，是对科教兴国的呼应。

《江汉大学学术丛书》是江大学人对 21 世纪中国政治、经济、文化诸多存在的一份认真的思考与回答，是江

大学人对具有中国特色社会主义建设贡献的聪明才智的结晶。

《江汉大学学术丛书》体现江汉大学学术成果的水平,涉及哲学、经济学、法学、文学、历史学、理学、工学、农学、医学及管理学等诸多领域,显示老一辈专家和中青年学者组成的学术阵容。

《江汉大学学术丛书》一定要成为培养江汉大学学术精英、建设江汉大学师资队伍和回报社会的园地。在这里,锻炼我们的学术品格,提升我们的学术水准,并成为我们的学术象征。

《江汉大学学术丛书》实行科学、公正、公开的选拔原则,经校学术委员会执行严格的评审、投票程序,遴选相应著作。

其山巍巍,其水淼淼,学无止境,江大学人努力吧!
薪火相传,代代不息,江大学人努力吧!

李进才

2001年2月

目 录

前 言	(1)
第一章 绪 论	(3)
第一节 从线性科学到非线性科学	(3)
第二节 自然界中的非线性现象	(5)
第三节 非线性系统的主要特征	(16)
第二章 非线性系统的形态及其研究	(26)
第一节 相空间和平衡点	(26)
第二节 同宿轨道和异宿轨道	(33)
第三节 吸引子	(37)
第四节 单摆非线性系统	(42)
第五节 非线性张弛振荡系统	(53)
第三章 分 岔	(59)
第一节 分岔的基本概念	(60)
第二节 映射的分岔	(70)

第三节	费根植和李指数	(83)
第四节	二维映射的分岔	(91)
第五节	奇怪吸引子	(103)
第四章	混 沌	(112)
第一节	三体问题和湍流	(113)
第二节	通向混沌的道路	(120)
第三节	梅尔尼科夫函数	(127)
第四节	混沌同步控制	(135)
第五节	混沌的应用	(145)
第五章	分 形	(156)
第一节	自相似结构	(157)
第二节	分维及测定方法	(164)
第三节	规则分形和无规分形	(176)
第四节	分形的应用	(198)
第五节	分形理论的发展	(222)
第六章	孤 子	(230)
第一节	罗素的发现及 KdV 方程	(231)
第二节	Sine-Gordon 方程和非线性薛定谔 方程	(240)
第三节	行波法	(246)
第四节	逆散射法原理	(261)
第五节	逆散射法应用	(269)
第六节	特殊变换法	(286)

第七节 孤子的应用	(305)
第七章 孤子、混沌与非线性理论	(327)
第一节 孤子与混沌的结合	(327)
第二节 有序与无序	(335)
第三节 量子、孤子及混沌	(346)
附 录	
附录 A 椭圆积分和椭圆函数	(354)
附录 B Sine-Gordon 方程的呼吸子解	(356)
附录 C 计算机模拟 VB 源程序	(359)
主要参考文献	(390)

Contents

Chapter 1	Introduction	(3)
section 1	From linear science to nonlinear science	(3)
section 2	Nonlinear phenomenon in natural world	(5)
section 3	Principal features nonlinear systems	(16)
Chapter 2	Formation and Search of nonlinear systems	(26)
section 1	Phase space and equilibrium point	(26)
section 2	Homoclinic orbits and heteroclinic orbits	(33)
section 3	Attractors	(37)
section 4	Nonlinear system of pendulum	(42)
section 5	Nonlinear system with relaxation oscillation	(53)
Chapter 3	Bifurcation	(59)
section 1	Basic concepts of bifurcation	(60)

section 2	Bifurcation mapping	(70)
section 3	Feigenbaum constants and Lyapunov exponents	(83)
section 4	Bifurcation of 2—dimensional systems	(91)
section 5	Strange attractors	(103)
Chapter 4	Chaos	(112)
section 1	Problem of three celestial bodies and Turbulence	(113)
section 2	Route to chaos	(120)
section 3	Melnikov's function	(127)
section 4	Synchronous control of chaos	(135)
section 5	Applications of chaos	(145)
Chapter 5	Fractal	(156)
section 1	Structure of self—similar	(157)
section 2	Fractal dimensions and measuring methods	(164)
section 3	Regular fractals and Random fractals	(176)
section 4	Applications of fractal	(198)
section 5	Develop of fractal theory	(222)
Chapter 6	Soliton	(230)
section 1	Russel's discover and KdV equation	(231)
section 2	Sine—Gordon equation and nonlinear Schrödinger equation	(240)
section 3	Methods of traveling wave	(246)
section 4	Principle of inverse scattering methods	(261)

section 5	Applications of inverse Scattering methods	(269)
section 6	Special transformations methods	(286)
section 7	Applications of Soliton	(305)
Chapter 7	Soliton、Chaos and Nonlinear theory	(327)
section 1	Combine Soliton with Chaos	(327)
section 2	Regular and Stochastic	(335)
section 3	Quantum、Soliton and Chaos	(346)
 Appendix		
Appendix A	Elliptic integral and elliptic functions	(354)
Appendix B	Breathe-soliton solution of Sine-Gordon equation	(356)
Appendix C	VB source Programs of computer simulation	(359)
References	(390)

前 言

继量子论、相对论之后,目前人类正面对着第三次极限的挑战——非线性科学。它是跨越多种科学门类的新兴领域,是集数值、解析、图形、计算机、实验等理论和方法并举的综合性交叉学科。我国著名物理学家郝柏林教授指出:“现代自然科学和技术发展的一个重要特征,可以概括为‘非’字当头,即出现以‘非’字起首而命名的一系列新方向和新领域,其中,非线性科学占有极其重要的位置。”而混沌、分形、孤子是非线性科学的重要组成部分,是人类思维的新发展,是科学宝库中的新财富,是窥见未来世界的壮丽图景。

近代自然科学的前驱培根(Bacon)曾指出:“科学的目的是把新的发明和财富赋予人类。”自1992年将美丽的分形图案印染到中国丝绸上以来,作者对非线性科学产生了无比的乐趣,十多年来,不断地学习、研究、讲授非线性理论,不断地探索非线性问题。在学习、科研、教学中获益匪浅,愿与读者分享,这是我们撰写此书的初衷。

本书尽力做到如下几点:1)三者有机结合。从物理实质和哲学高度论述混沌、分形、孤子等基本概念、基本理论、基本方法,使三者有机结合,进而与非线性科学理论有机结合。2)理论与实践

并重。本书不仅重视理论,而且也十分重视理论的应用。在应用理论中阐明其核心思想、主要步骤、重要方法和技巧等。3)历史与前沿并重。本书在重视非线性科学发展的历史的同时,又特别重视非线性科学在前沿科学领域的发展及成果。4)静态与动态并重。本书注意到了混沌、分形、孤子等方面已取得的成就,同时又重视到非线性科学是正在发展中的科学,还有许多要解决的问题。这在一些章节都有叙述。5)理性与感性的并重。本书重视混沌、分形、孤子各自理论的独立性,又重视它们之间的相关性、统一性,同时又特别注意通过实例加深对它们的感性认识。书中附录 C 给出了 10 个 VB 源程序,使读者能上机实践,使之对混沌、分形、孤子等有感性认识,对非线性的奇特性、复杂性有较为明晰的认识。

本书在出版过程中,得到了江汉大学的大力支持,敬表谢意。另外,附录 C 中的混沌声音源程序由钱同惠副教授提供,使得本书声形并茂,表示感谢。

限于作者的学术和写作水平,虽经数载艰辛,仍不能将非线性科学的精妙表达于万一,如能唤起读者对非线性科学的兴趣,我们就备感欣慰了。书中不妥和错误之处在所难免,敬祈斧正。

作 者

2004 年 6 月 2 日

第一章 绪论

第一节 从线性科学到非线性科学

20 世纪初物理学出现的两大划时代理论——相对论和量子论正带动着现代自然科学和技术全面跃进和迅猛发展,正在改变着传统的科学分类和科学研究的方法,开拓了横跨多种学科门类的新兴领域。这种发展的一个重要标志就是“非线性科学”的突起。非线性系统的相干结构和内在的随机性,强烈地冲击着传统的线性科学。

线性是指量与量的正比关系。在直角坐标系里,这是用一条直线表征的关系。近代自然科学正是从研究线性系统这种简单对象开始的。这是符合人的认识发展规律的。所以在科学发展早期,首先从线性关系来认识事物,较多地研究了事物的线性相互作用,这是很自然的。在经典物理学中,首先考察的是没有摩擦的“理想摆”,没有黏滞性的“理想流体”,温度梯度很小的热流等;在数学上,首先研究的是线性函数、线性方程等。对于许多自然现象的探索,总是力求在忽略非线性因素的前提下,建立起线性模型,至少是力求对非线性模型的线性化处理。用线性模型近似或局部地代替非线性原型,或者借助于对线性过程的微小扰动来讨论非