

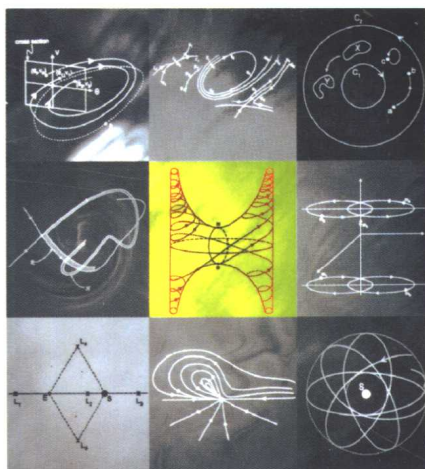
普林斯顿科学文库 2

天遇

——混沌与稳定性的起源

弗洛林·迪亚库 菲利普·霍尔姆斯 著

王兰宇 译 陈启元 井竹君 校



上海科技教育出版社

自 1922 年爱因斯坦《相对论的意义》问世以来,普林斯顿大学出版社一直致力于将顶尖科学家的著作推介给广大读者,享誉世界的“普林斯顿科学文库”正是这种努力的结晶。“文库”所辑之作,历时弥久而光彩愈彰。该“文库”中文版译笔严谨晓畅,装帧典雅精致,既利专业人士参阅,亦便社会公众欣赏。

ISBN 7-5428-2729-4



9 787542 827296 >

ISBN 7-5428-2729-4/N·441

定价: 19.00 元

天遇 ——混沌与稳定性的起源

弗洛林·迪亚库 菲利普·霍尔姆斯 著

王兰宇 译

陈启元 井竹君 校

上海科技教育出版社

**Celestial Encounters:
The Origins of Chaos and Stability**

by

Florin Diacu & Philip Holmes

Copyright © 1996 by Florin Diacu & Philip Holmes
Chinese (Simplified Character) Trade Paperback copyright © 2001 by
Shanghai Scientific & Technological Education Publishing House
Published by arrangement with Princeton University Press
in association with Arts & Licensing International, Inc., USA

ALL RIGHTS RESERVED

上海科技教育出版社业经普林斯顿大学出版社
及 Arts & Licensing International, Inc., USA
取得本书中文简体字版权

责任编辑 潘涛 装帧设计 汤世梁

天遇

——混沌与稳定性的起源

弗洛林·迪亚库 菲利普·霍尔姆斯 著

王兰宇 译

陈启元 井竹君 校

上海科技教育出版社出版发行

(上海冠生园路393号 邮政编码 200235)

各地新华书店经销 上海长阳印刷厂印刷

开本 787×960 1/32 印张 10.75 字数 220 000

2001年12月第1版 2001年12月第1次印刷

印数 1-5 000

ISBN 7-5428-2729-4/N·441

图字 09-1998-072 号

定价:19.00 元

普林斯顿科学文库

2

图书在版编目(CIP)数据

天遇:混沌与稳定性的起源/(罗)迪亚库(Diacu, F.), (美)霍尔姆斯(Holmes, P.)著;王兰宇译. —上海:上海科技教育出版社, 2001.12

(普林斯顿科学文库)

书名原文: Celestial Encounters: The Origins of Chaos and Stability

ISBN 7-5428-2729-4

I. 天...

II. ①迪...②霍...③王...

III. 天体力学-多体问题-研究-历史

IV. P132-49

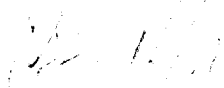
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 075093 号

中文版序

我们非常高兴地看到《天遇》一书中文版的问世。自庞加莱(Poincaré)时代以来,数学研究的世界已大大扩大。在庞加莱时代,聚会到一起组成很小的学术团体的巴黎、柏林、斯德哥尔摩的学术领袖们,大多数都是朋友或熟人。当时,除了美国和俄国以外,数学研究基本上都集中在西欧。如今,数学研究真正国际化了:特别是众多中国学生和学者到西方去求学、访问,他们无论在自己的国家还是其他国家都做出了重要的贡献。

中国现在已经深深融入到数学科学(mathematical sciences)的国际合作之中。1999年于北京和2001年于温哥华举行的加拿大一中国数学会议,以及将于2002年在北京召开的国际数学家大会,都说明了这一点。届时,来自世界各地的数以千计的数学家,将参加这一每4年举行一次并颁发菲尔兹奖的数学界最最重要的盛大集会。

我们希望本书能够引起华人数学家、科学家和学者们的兴趣,也希望书中阐述的历史和思想能够激励更多的大学生、



中学生投身于这个生机勃勃的动力系统研究领域。

作者

2001 年 10 月

于不列颠哥伦比亚省维多利亚和新泽西州普林斯顿

献给玛丽娜(Marina)和拉兹万·迪亚库(Răzvan Diacu),
感谢他们给予的爱与关怀

纪念罗伯特·蒙太古·霍尔姆斯(Robert Montague Holmes,
1903~1995),他在不知不觉中将他的儿子引向这条奇异的道
路

你们,住在奥林波斯的缪斯,请你们从头开始告诉我这些事情,告诉我,他们之中的哪一个最先产生。

最先产生的确实是卡俄斯(混沌)……

——赫西俄德(Hesiod),《神谱》,II,114~116 行

如果不能详细地了解方程的解,通常也就不能理解这一方程的数学本质。

——弗里曼·戴森(Freeman Dyson)

序言和致谢

本书的创生过程或许是非同寻常的。第一作者弗洛林·迪亚库(Florin Diacu)是一名来自罗马尼亚的移民,现居住在加拿大西部,并在维多利亚大学讲授数学。迪亚库于1989年剧变前夕迁往德国,此前他是一名中学教师。他利用业余时间研究天体力学问题,后来向海德堡大学提交了有关该问题的博士学位论文。在维多利亚大学安顿1年后,即在1992~1993年,迪亚库讲授有关动力系统的研究生课程,他在办公室的门上粘贴了许多关于奇怪吸引子及其他混沌对象的图片。这些图片吸引了来自不同领域想探讨混沌问题的学生们的拜访。学生们经常请他推荐一本普及读物。因为好像没有合适的选择,迪亚库决定自己写一本书——同时可以提高他的英语水平。在撰写数学论文时,人们只是使用很有限的词汇。

他想为非专业人士写这本书,目的是描述他选择的研究领域给他印象最深的思想与人。迪亚库曾经教过只具初级数学知识的年轻人,于是他有能力向普通的听众表述他的想法以及他在此学科中所感受到的兴奋。格莱克(James Gleick)的《混沌——开创新科学》和斯图尔特(Ian Stewart)的《上帝掷

骰子吗？——混沌之数学》等书已经向大众展现了当前的研究动态与成果，然而迪亚库认为从某种意义上讲这些书都是没有根基的建筑物。尽管已有了很多精彩的描写，但似乎还需要一本从较深层次描述混沌与动力系统理论领域的中心问题—— n 体问题——的历史渊源与数学基础的书籍。 n 体问题的大部分历史发展并不广为人知。即使在距离昂利·庞加莱(Henri Poincaré)授课地点索邦大学(巴黎第五大学)很近的巴黎举办的关于混沌的展示“坍塌的殿堂”上，人们仍然可以发现诸如“该现象于 20 世纪 60 年代被发现”这样的词句。

迪亚库到蒙特利尔作博士后研究不久，他访问康奈尔大学时遇到了菲利普·霍尔姆斯(Philip Holmes)。后者不是天体力学领域的专家，但他在动力系统领域做过 20 年的研究工作。(尽管现在有人会认为天体力学只是动力系统理论中的一小部分，但本书将说明动力系统起源于天体力学。)迪亚库于 1994 年初完成了本书的初稿，他征询霍尔姆斯是否能阅读和审阅一下初稿。后者同意了，不久迪亚库收到一份用红笔做了大量批注的手稿。因此，他邀请霍尔姆斯作为本书的第二作者。霍尔姆斯起初不肯接受，他认为自己除了在本书的写作方式上提供了一些建议，没有其他的贡献。但他对于已经出版的有关动力系统最新发现的通俗读物并不完全满意，随着时间的推移，他意识到可以对有关他所研究的核心问题的数学思想的阐述做出一些贡献，于是本书就这样诞生了。

有关昂利·庞加莱发现混沌和他获得瑞典与挪威国王奥斯卡二世(King Oscar II)的嘉奖以及随后出版他的著作的故

事,已在彼得森(Ivars Peterson)的好书《牛顿的时钟——太阳系中的混沌》中讲述过。第1章我们重述这个故事时将引用一些新的史料,力求对微分方程理论和庞加莱发明的几何理论给出更深刻的说明和体会。彼得森主要感兴趣的是天文学中与太阳系动力学相关的发展史,而我们将着重描述天体力学和一般的动力系统理论的数学基础,这与彼得森的书有相当大的不同。第1章还介绍动力系统栖居的数学宇宙——相空间,并解释相空间分析的某些基本工具。第2章继续介绍分析相空间的基本工具,同时阐述美国数学家伯克霍夫(George Birkhoff)和斯梅尔(Stephen Smale)给出的分析的、几何的与符号的方法。

第3章回到天体力学中那些引起庞加莱兴趣的问题,阐述奇点和碰撞理论。尽管在我们的一生中似乎太阳系都不可能发生这样的事,但是它们对于研究宇宙的长期发展史与理解 n 体问题相空间的结构皆很重要。(事实上,在1994年夏季写作本书时,苏梅克-列维彗星的碎片撞击木星,这次碰撞受到新闻界的广泛关注。)本章从潘勒韦(Painlevé)在斯德哥尔摩的演讲讲起——他也与瑞典王国有联系——直到冯·塞佩尔(von Zeipel)的工作,最后讲述该领域的最新进展。

第4章是有关稳定性问题的。我们再次回到达朗贝尔(d'Alembert)、拉普拉斯(Laplace)、拉格朗日(Lagrange)和泊松(Poisson)的时代,然后离开法国向东前往罗马尼亚和俄罗斯去会晤哈雷特(Spiru Haretu)和李雅普诺夫(Aleksandr Mikhailovich Liapunov)。在此过程中,我们描述发展了两个多世纪的比较精细的近似级数解及由它们导出的关于稳定性的

矛盾结果。稳定性争论直至 20 世纪 50~60 年代才被解决,第 5 章着重讲述这方面的工作。通过描述经典力学中最有影响的(最频繁引用的)结果之一柯尔莫哥洛夫-阿诺德-莫泽理论,或称 KAM 理论,我们会看到混沌与稳定性如何在我们关于宇宙的数学模型中密切联系在一起。

本书有两个目的。首先,希望通过叙述天体力学和动力系统理论的历史发展,试图去重建人们所处的社会和智力环境。其次,我们力图从较深层次说明那些先驱们留给我们的数学思想与方法,以及我们在此基础上做出的贡献(相比而言是很少的)。本书适用于听说过混沌并想比较深入了解它的起源、理论和创立者的读者。尽管混沌具有越来越通俗的表现形式,如机场礼品店中的游戏和玩具,但它本质上是一门数学理论。我们希望更多的读者能够像我们一样发现那些隐藏在数学思想背后的有趣的激动人心的故事,这将鼓励他们继续探索数学世界的奥秘。因此,本书既不是通常的历史研究文献,也不是仅为研究者和学者所写的关于数学新思想的综述。事实上,我们的处理可能使某些研究者感到困惑,于是作一简短的解释是适宜的。

没有梦想的生活会是什么样呢?缺乏想象力的梦想又会是什么样呢?在许多方面,科学家和艺术家、作曲家、小说家、诗人一样都是梦想家。像后者中的许多人一样,科学家在现实世界里展开他们富于想象力的翅膀。数学家也不例外,但不同于其他科学家的是,他们的梦想至少在原则上是百分之百可证实的。而其他科学家必须依赖不确定的假说、不明确的假

设或者不完善的观察和实验。数学家在承认最基本的公理以后利用精确的概念和定义以及他们的想象力和技巧所建造的理论体系是具有牢固基础的。每个数学家都幻想建造一些与他们的研究领域的内在精神和需要和谐一致的完美的大厦。这就是数学的强大动力与局限性:字面上这是一个自成体系的世界。

然而数学家终究是人,他们从事研究的动机与思想都来自于外部世界——日常生活中的问题和现象。不管一个定理看起来多么枯燥和专门,获得该定理的原动力和证明中隐含的思想却来自于发现者的日常经验、与朋友和熟人的讨论以及对于某些特别“实在”现象的研究。我们希望揭示数学家一生中的机遇、数学家人生中的交往、他们的洞见以及所做出的贡献之间的某种相互作用与影响。数学本身是一种国际性的语言,它的实践既是个人事物也是集体事物。本书将把读者带到许多不同的国度与文化中,我们将会发现许多政治和社会因素也影响着数学的发展。

学生们在遇到困难的证明或分析时常常会对大师们如何获得其中奥妙的思想感到惊奇。但是那些细节很少能够写入发表的论文及历史文献中。有时可以在数学家的信件、日记和私人论文中查到,但常常是随着数学家的故去不得而知了。本书不仅要在更大的数学世界中阐明不同的发现在“事成之后”是如何表示的,而且要在人文世界中识别它们是如何起源的。这对于本书中出现的当代人而言,是相当容易的。当一个思想的起源或一个证明的细节不清楚时,通过电子函件或电话常常就可以解决问题(或引出一些矛盾的解答)。而我们很难考察已经故去的人许久以前的故事。时间的流逝使当时

发生的事件的许多细节已经变得模糊不清,有时除了事件发生的时间与地点以外,几乎很少能够揭示什么。

在尝试重现一些历史场景时,我们偶尔超出历史研究的范围对一些事件作解释。然而本书中的大量故事完全是以记载的历史事实为基础的,我们仅新增少数没有直接资料的场景与对话。我们通常把它们与人们关心的类似的记录在案的事件作类比处理。与数学家们的梦想不同,我们新增的故事是不可证实的。(但也是不可否证的。)希望它们能够帮助读者更好地体会数学发明,乃至数学实质本身。我们为有记载的历史事件提供了相关的文献,在书末的注释中也明确指出了这些猜测性的段落。

本书从天体力学与 n 体问题的观点阐述动力系统理论的起源,同时我们将注意力集中在这一主题的数学基础上。在此提前向那些在本书中未能找到他们本专业的理论与应用的读者表示歉意。动力系统是一个如此迅速发展的领域,我们不可能在书中给出一个完整的描述,况且我们的时间与精力也是有限的!

在本书的写作过程中许多人提供了帮助:有的人提供了有价值的资料,有的人阅读了我们的手稿(或其中的主要部分),就材料的取舍、纠错、字句的斟酌提出了很多宝贵的意见,促使我们作出更好的解说。我们要特别感谢安德森(Karl Andersson),阿奇博尔德(Tom Archibald),阿诺德(Vladimir Igorevich Arnold),班纳-马丁(Mark Bannar-Martin),巴尔扎(Ilie Barza),沙普龙(Marc Chaperon),尚西内(Alain Chenciner),康利

(Catharine Anastasia Conley), 克雷格 (Scott Craig), 玛丽娜·迪亚库 (Marina Diacu), 多莫科什 (Gabor Domokos), 加伯 (Robert Garber), 杰弗 (Joseph Gerver), 加里斯特 (Robert Ghrist), 格林伯格 (Arlene Greenberg), 霍德 (Holly Hodder), 鲁思·霍尔姆斯 (Ruth Holmes), 杰克逊 (Martha Mary Jackson), 琼斯 (Chris Jones), 马瑟 (John Mather), 麦吉 (Richard McGehee), 米奥克 (Vasile Mioc), 莫泽 (Jürgen Moser), 皮特 (Jaak Peetre), 克里斯·菲利普斯 (Chris Phillips), 穆瑞恩·菲利普斯 (Moireen Phillips), 约翰·菲利普斯 (John Phillips), 里德 (Bill Reed), 萨瑞 (Donald Gene Saari), 索特 (Jean-Claude Saut), 西奈 (Yasha Sinai), 斯梅尔, 达娜·施勒米乌科 (Dana Schlomiuk), 诺贝特·施勒米乌科 (Norbert Schlomiuk), 西蒙 (Carl Simon), 蒂 (Garry Tee), 通保伊迪什 (Stathis Tompaidis), 费尔胡尔斯特 (Ferdinand Verhulst), 弗金斯奇 (Bogdan Verjinschi), 夏志宏 (Zhihong Xia), 和兹德拉夫科夫斯卡 (Smilka Zdravkovska)。同时对由于疏忽没有提到的人表示歉意。

还要感谢本书的编辑利普斯科姆 (Trevor Lipscombe) 及其普林斯顿大学出版社的同事们, 特别是卡拉普赖斯 (Alice Calaprice) 为手稿的编辑付出了辛勤的努力, 以及布雷斯特 (Chris Brest) 将我们的草图绘成精美的插图。

在本书写作期间, 霍尔姆斯部分得到约翰·西蒙·古根海姆 (John Simon Guggenheim) 纪念基金的资助。最后, 如果没有电子函件和 TeX 软件, 本书或许还停留于一个梦想。

1996 年 4 月

于不列颠哥伦比亚省维多利亚和新泽西州普林斯顿