

DEEP
SIMPLICITY

深奥的简洁

[英] 约翰·格里宾 (John Gribbin) 著 马自恒 译

CHAOS,
COMPLEXITY
AND THE
EMERGENCE OF
LIFE



江苏凤凰文艺出版社
JIANGSU PHOENIX LITERATURE AND
ART PUBLISHING, LTD.

DEEP SIMPLICITY

CHAOS, COMPLEXITY AND THE EMERGENCE OF LIFE

深奥的简洁

[英] 约翰·格里宾 (John Gribbin) 著

马自恒 译



江苏凤凰文艺出版社
JIANGSU PHOENIX LITERATURE AND
ART PUBLISHING, LTD.

图书在版编目 (CIP) 数据

深奥的简洁 / (英) 约翰·格里宾 (John Gribbin)
著; 马自恒译. -- 南京: 江苏凤凰文艺出版社,
2020.2 (2020.3重印)
书名原文: Deep Simplicity
ISBN 978-7-5594-4225-3

I. ①深… II. ①约… ②马… III. ①科学知识-普
及读物 IV. ①Z228

中国版本图书馆CIP数据核字 (2019) 第263193号

Deep Simplicity: Chaos, Complexity and the Emergence of Life
Copyright © John and Mary Gribbin, 2004

深奥的简洁

[英] 约翰·格里宾 著 马自恒 译

出 版 人 张在健
责任编辑 唐 婧
装帧设计 水玉银文化
责任印制 郝 旺
出版发行 江苏凤凰文艺出版社
南京市中央路 165 号, 邮编: 210009
网 址 <http://www.jswenyi.com>
印 刷 唐山富达印务有限公司
开 本 690 毫米 × 980 毫米 1/16
印 张 15
字 数 146 千字
版 次 2020 年 2 月第 1 版 2020 年 3 月第 2 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5594-4225-3
定 价 52.00 元

江苏凤凰文艺版图书凡印刷、装订错误可随时向承印厂调换
电话: (010) 83670070

目 录

前 言	蕴含于复杂中的简洁	... 001
第一章	混沌中的秩序	... 005
第二章	重返混沌	... 039
第三章	秩序衍生混沌	... 069
第四章	混沌的边际	... 103
第五章	地震、物种灭绝与突现	... 135
第六章	生命的真相	... 175
第七章	远方的生命	... 201

蕴含于复杂中的简洁

我们居住的世界似乎是个复杂的地方，即使存在一些似乎永恒的真理（苹果总是掉到地下而不是天上，太阳总是由东边升起而不是西边）。尽管有现代科技的帮助，我们的生活仍必须提防突如其来的意外事件：气象预测既是科学也是艺术；地震与火山爆发随机发生，难以预料；股市震荡也没有固定的模式。自从伽利略开始（约从 17 世纪起），突飞猛进的科学发展便忽略这些复杂的问题，而专注于简单的部分，试图解释为什么苹果往下掉与太阳为什么从东方升起。

科学进步得如此迅速，到了 20 世纪中叶，所有简单的问题都有了答案。广义相对论与量子力学解释了宇宙在大尺度与小尺度中的运作机制，而人类对于 DNA 的结构以及它们在遗传复制机制中的了解，使得生命与演化得以在分子层次上被简单地解释。但生命是如何从无生命体中产生的？这个最有趣的问题，依然无解。宇宙中最难以用传统科学探索的、最复杂的生物，就是人类。因为在原子这些较小的尺度中，个体以相当简单的方式彼此互动，只有当许多原子以复杂又有趣的方式连接，才会产生像人类这样复杂又有趣的生物。但这个过程不能无限地持续，因为

如果越来越多的原子结合在一起，它们整体的质量将使得重力压垮一切。一个原子或是水分子的结构比人类简单，因为其中只有少许的内在结构；一个星球或星球内部也比人类简单，因为重力把所有的结构都压垮了。这就是为什么科学能告诉我们很多原子行为与星体内部的运作方式，却难以描述人类的行为。

当简单的问题被解答了，很自然地，科学家会试图挑战复杂系统中更困难的问题。虽然先前曾有零零星星的针对这些难题所做的勇敢尝试，但直到强大、快速（以当时的标准来说）的电子计算机在 20 世纪 60 年代出现后，我们才得以真正了解复杂世界的运作。这些新发展在 20 世纪 80 年代中期之后渐渐引起人们更多的注意，特别是在伊利亚·普里戈金（Ilya Prigogine）的《从混沌到有序》（*Order out of Chaos*）与詹姆斯·格雷克（James Gleick）的《混沌》（*Chaos*）出版之后。当时我忙着写有关旧科学的丰功伟业方面的内容，虽然也想要了解关于混沌与复杂的概念，但那实在令人头疼，因此我多半抱着观望的态度旁观。

过了 10 年，混沌理论没有消失，但并没有人以让人容易理解的方式将之诉诸文字，因此我决定自己动手来做，这意味着我必须阅读所有相关书籍，并自行吸收理解。在这个过程中，我发觉它其实一点儿也不难。相对论与量子力学刚被建立时，大家都以为只有专家才能懂，但其实两者都建立于简单的概念之上，即使是门外汉，只要不深究那些数学运算，也都能理解。而混沌与复杂具有同样的特性，这点也没什么好惊讶的。但当我终于知道混沌是怎么一回事时，我还是大吃一惊。我的理解是：重点只在于某些系统（“系统”包含的范围可以很广，比如摆荡的钟摆、太阳系或水龙头的滴水规律）对于初始条件非常敏感，因此初始“那一刹那”的少许差异，会造成截然不同的结果。此外，还有“反馈”（feedback），反馈使得系统会影响自身的行为。这一切看起来太完美了，简单得令人难以置信！因此当我请教朋友吉米·拉夫洛克（Jim Lovelock）

时，我问道：“是否混沌和复杂所探讨的一切，只是建立于两个简单的概念之上——系统对初始状态的敏感以及回馈？”他回答：“一点儿也没错，全都包在里面。”

这有点像是说，狭义相对论“全都包在”光速对所有观测者来说皆一致这样的概念里。这的确是实情，也很简单易懂。然而，建立在简单事实上的复杂结构相当惊人，需要有一定的数学背景才能完全体会。以我过去给不具备科学背景的人士解释相对论本质的经验，以及明白了在混沌与复杂架构下也是类似的简单真理，我有信心能以浅显的方式介绍这个领域。而这个成果正捧在你的手中，《深奥的简洁》是一本针对一般大众、以由浅入深的简单方式尝试解释混沌与复杂的著作。本书的重点在于，混沌和复杂遵循简单法则，基本上就和牛顿 300 年前发现的简单法则一样。某些论调会让你以为四个世纪以来的科学努力被颠覆了，然而，这些新发展却大大不同，它们显示了简单法则长久累积出的科学认知，如何能成功地解释（虽然无法预测）看似无法解释的天气系统、股票市场、地震，甚至人类。我也将试图说服你，混沌与从简单系统中孕育出的复杂，就快要解开生命起源之谜了。美国物理学家默里·盖尔曼（Murray Gell-Mann）的一句话也呼应了物理学家理查德·费曼（Richard Feynman）的猜想：我们在周遭世界所见的复杂行为——甚至在生命世界中——只是“从深奥的简洁中浮现出的复杂表象”。^①而支撑着复杂的“深奥的简洁”，正是这本书的主题。

约翰·格里宾

2003 年 1 月

^① 引自罗杰·勒温（Roger Lewin）的《复杂》（*Complexity*）。

第一章

混沌中的秩序

想象有一个智慧体，它在任何时间都知道所有控制大自然的力量，同时也知道每一项事物的运动状态。假设这智慧体可以将所有数据加以分析，能把宇宙中大大小小物体运动的状态用一个公式描述。对它而言，没有不确定的东西；它可以清楚地看到未来与过去。

——拉普拉斯，《概率论的哲学理论》，1814 年

在 17 世纪科学革命之前，世界似乎被“混沌”（chaos）所主宰。混沌这个名词和现代科学家使用的意义不同，但大多数人仍然用它。没有迹象显示这个令人困惑的世界是由有秩序的简单法则所支撑的。人们对于风与天气的变化、饥荒的发生或是行星运行的轨道所能给出的最好的解释是，它们都是上帝或众神的即兴之作。宇宙中的秩序被视为物体必须遵循的和谐回应；只要可能，秩序就会呈现。例如行星运行与太阳绕着地球（地球被视为宇宙中心）运行的轨道被认为是圆形的，因为圆形是完美的。东西会向下落是因为地球的中心就是一切的中心；它是宇宙对称的中心，所以是最合适的落点。公元前 3 世纪的天文学家、数学家阿里斯塔克斯（Aristarchus），宣称地球绕太阳运行，不过他想象中的轨道仍是圆形的。

这些例子突显出古代科学和后伽利略科学之间一个关键的不同点。古希腊人是杰出的数学家，特别是杰出的几何学家，他们非常了解静止事物之间的关系。当然，这样的几何学起源于更早的文化。也不难想象，最早的科学是如何因史前发展中农业社会生活的实际需要而引发的。但古希腊人完全不懂物体如何运动或运动定律，只要看看他们面对古希腊哲学家芝诺（Zeno）著名的悖论时的困惑就明白了。这个悖论好比说如果一个士兵在箭射到他之前就已经从原本的位置跑开，那么他就永远不会被箭命中：在箭又多走这一段距离的同时，他也又向前移动一些，如

此等等。

即使哥白尼发表了以太阳为中心的宇宙模型（但依然建立在圆形的轨道上），仍有像阿里斯塔克斯这样的人认为，以地球为中心的宇宙依然是公认的映象 [image, 当今的科学家称之为“模型” (model)]。哥白尼在 1543 年出版的《天体运行论》(*De Revolutionibus Orbium Coelestium*), 实际上在 1530 年就完成了，而且大部分内容在出版前就被广泛讨论，引来了马丁·路德 1539 年的评论：“这傻瓜竟想扭转整个天文学！但神圣的经文告诉我们，约书亚命令太阳不许动，而非地球。”面对类似的批判，伽利略后来反击道：“《圣经》告诉我们通往天堂的途径，而非天体如何运行。”丹麦天文学家第谷·布拉赫 (Tycho Brahe, 1546—1601) 凭借自己的双眼，不但发现了火星是围绕太阳运行的，更发现了它走的是椭圆形轨道。与伽利略同时代的开普勒，利用第谷·布拉赫经年累月的观察所汇集的资料，最终打垮了古希腊人所钟爱的那种以完美圆形规范星空的概念。

亲自做实验的伽利略

即便那些对科学或科学史了解不多的人，也知道伽利略（1564—1642）利用刚问世的望远镜，发现了支持哥白尼日心说的证据，这使得他和天主教廷起了冲突，天主教廷禁止他的书籍在天主教国家出版。这（当然）使他的书在其他国家变得更为畅销。但他的成就不仅于此；对于建立一套探索以实验或观察结果来比较两种以上理论（或模型）的科学方法，伽利略的贡献最多，他也是第一个以科学方式解释运动概念的人。

1583 年，当伽利略还是意大利比萨（Pisa）的一名医学生时，他的

一项发现便成为日后运动研究的关键。在一场无聊的教堂布道中，他看到头顶上的大吊灯来回摆动，使用自己的脉搏来计时。结果发现，无论吊灯摆动的幅度有多大，摆动一次所花的时间都一样。后续在钟摆上的实验证实，摆动一次所需的时间取决于钟摆的长度，而不是摆动的幅度，这就是钟摆原理。虽然伽利略没有亲自制作出一座钟（他设计了一座，后来由他儿子制作完成），但他因此有了一种准确计时的工具，用于他接下来计算球从斜坡滚下时所用的时间。这些实验让我们对伽利略的思考与科学方法有了进一步的认识。他想研究自由落体，以探索重力对运动的影响。但自由落下的球速难以测量，因此他让球从倾斜的坡道滚下，这将会产生一个新版本的重力自由落体实验。通过这些实验，伽利略提出了加速度的概念。物体的速率（或速度）代表它在一段特定时间（比如说一秒钟）里移动了多少距离； 9.8m/s 的速率表示，移动中的物体每秒会走 9.8 米的距离。但伽利略发现，下落的物体（或由斜坡滚下的球）越跑越快，且每秒的速度都在增加。最关键的是，他的实验显示每秒增加的速度都一样——加速相等。 9.8m/s^2 的相等加速表示，从静止状态起算，物体在第一秒时速度是 9.8m/s ，第二秒时是 19.6m/s ，第三秒时是 29.4m/s ，以此类推。我特别选这个例子，是因为 9.8m/s^2 恰好是地球表面的重力对自由落体所引发的加速度。因为时间在这个计算中被乘了两次，所以被称为二次项。由重力引发的加速度，完美地解释了为什么钟摆会有那样的特性。

伽利略还提出了其他证明，而它们也是本书的核心。他发现，当球从斜坡滚下时，它会产生摩擦力从而使速度减慢。事实上，他所测得的并非完美的加速度。但他做出的戏剧性的重大突破，比如用这些实际观察得到的数据推论，试着算出如果摩擦力不存在，这些球会在光滑的完美斜坡上如何运动，这在当时是非常令人吃惊的。这种推断方式，成为之后 400 年科学探索的核心。当科学家，尤其是物理学家，试图以数学

定理描述这个世界时，例如描述碰撞时毫不变形、滚下斜坡时不产生摩擦力的完美硬球这样的神秘物体时，他们是在将这些定理当作公式来用的。和古希腊哲学家不同，这些科学家知道完美的想象并不代表真实世界。把这些公式当武器的同时，他们可以再加入一些条件与修正系数，把真实世界的不完美纳入计算，例如自由落体的空气阻力。空气阻力解释了一把铁锤和一片羽毛在地球上落下的速度为什么会不同，而在没有空气的月球上它们却以相同速度下坠，就像“阿波罗”号航天员曾经示范过的那样。

这一切，使得伽利略将另一项前人构想出的真实世界中的完美几何性质，逐出了科学领域。在伽利略之前，人们以为当大炮以仰角发射时，炮弹离开炮口时先以直线运行，再以圆弧路径行进一段距离，然后垂直落到地面。只有想象中的完美直线和圆弧与运动有关。伽利略利用他所发现的“重力会持续对炮弹产生向下的加速度，加上炮弹离开炮口的速度”，证明炮弹到达目标前的行进路线是一条平滑的抛物线。相同的计算也证明，炮弹以仰角 45 度发射时，其飞行距离最远（假设炮弹重量及填装火药都相同）。这些都是伽利略所处的动荡时代中，极为重要的实际应用。这些军事方面的成果，使他很早就建立了声誉。不管哲学家或神学家对完美有什么意见，战场上的军队没有时间争论哪一种弧线运动比较称心合意，他们只想知道，往哪个角度瞄准，才可以达到最佳攻击效果。而伽利略告诉了他们答案。

结合了开普勒所发现的椭圆轨道和伽利略对物体加速与科学方法的洞见，17 世纪（或有史以来）最伟大的科学发现——牛顿的万有引力定律诞生了。牛顿生于 1643 年，死于 1727 年。他从 1684 年开始创作伟大的作品《自然哲学的数学原理》（*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*），或直接称为《原理》（*Principia*），并于 1687 年完成、出版。书中的概念，是他在 20 年前就开始构思的。当时他才获得剑桥大学

的学士学位，并将成为三一学院（Trinity College）的教员。因为大瘟疫的流行，学校关闭，牛顿因而被迫回到位于林肯郡的母亲家中，一待就是好几个月。和伽利略一样，牛顿着重于将理论和模型与真实世界中的实验和观察作比较，他会亲自做实验，以验证自己的想法。做实验早已根深蒂固地成为当代科学方法的一部分，所以对今天的科学家，甚至非科学家来说，这是理所当然的事。我们很难想象，即使进入 17 世纪，许多哲学家依旧以抽象的方式猜测物理世界的本质，而不愿意动手去做实验。举一个典型的争论案例：两个不同重量的物体，在同一高度和同一时间落下，是否会同时着地？即使一位佛兰德斯的工程师西蒙·斯蒂文（Simon Stevin）真的从大约十米的高度进行了这项实验，并在 1586 年发表了研究结果，之后数十年中，哲学家们仍为这个题目争论不休。^①

牛顿与莱布尼兹的争执

牛顿在描述真实世界的特定性质时，也继承了伽利略广博精深的观念，就是刻意简化模型（如伽利略的绝对光滑的平面）。例如，牛顿对于重力与运行轨道研究的关键点在于，不论是火星、月球或一颗苹果，在计算万有引力时，他一概把物体质量视为集中在质心上；只要研究者在被研究物体之外，它的万有引力可根据研究者与物体质心（当物体是球形时，也被称为几何中心）之间的距离算出。牛顿在《原理》中证明，对于球状物体，上述说法依然成立。他知道地球不是正球体（他甚至可以算出地球在赤道附近因自转膨胀的程度），但他觉得把地球（以及

^① 顺便一提，没有证据可以证实伽利略曾亲自在比萨斜塔上做过这个实验。这个传说似乎始于温琴佐·维维亚尼（Vincenzo Viviani）所写的一本充满传奇色彩的伽利略传记。伽利略晚年眼睛看不见了，于是雇请对他有着英雄式崇拜的只有 17 岁的维维亚尼为抄写助手。

太阳、火星等）视为正球体，是初步估算它运行轨道的合理假设。后来的计算印证了，即使是非常不规则的物体，如果你与它的距离够远，在重力表现上它的质量就好像集中于一点。但这无损于在适当时机利用理想的模型描述真实状况的重要性。

除了这个特别的故事，还有更令人目不暇接的情节。牛顿在《原理》中证明了，研究万有引力时，将一个球形物体所有质量视为集中于一点的观点是正确的。他在证明中所使用的几何技巧，古希腊人都了解，而他同时期的科学家一定也都熟知。以此来完成这项证明很困难，但如今我们知道，早在写《原理》之前，牛顿就发展（或发明）了现在所谓的微积分的技巧，用微积分的技巧完成这项证明就非常简单。很多学者怀疑，牛顿事实上先用微积分解开了这个问题，然后才大费周章地用传统术语把这些步骤解释一遍，以便让其他科学家了解。如果真是这样，从某种角度来看，他是自食恶果。因为牛顿没有宣布他所发明的新的数学技巧，因而在他与德国数学家威廉·莱布尼兹（Wilhelm Leibniz，1646—1716）之间引发了一场激烈的争执；莱布尼兹也独立发明了微积分（今天所用的名称就是由他定的）。莱布尼兹发明微积分概念的时间晚于牛顿，但他很明智地立即将其发表了。这也是当时发明顺序何以引发激烈争论的部分原因（其他原因是因为两位主角都不愿让步，牛顿是个不好相处的人，他自视过高，并且会仇视他眼中的敌手）。然而谁先谁后的争论，在此无关紧要，重点是微积分能将问题分割成数学上好处理的小区块，而把计算得到的结果相加，就成了原来问题的答案。在球状物体重力作用的例子中，可以把球体切割（微分）成无数个无限小的物体，然后依据它们在球体中的位置，分别写下对应的重力作用方程式，而它

们整体的作用就可以由这些方程式加总（积分）得出。^①

同样的处理技巧也适用于时间。比如说，一支箭的飞行轨迹可以被微分成在它飞行路径中无数的点的集合；想躲开这支箭的人，也可做同样的分析。这两个微分后的方程式合起来被积分，便可得知箭射中人的确定时间。微积分被广泛了解后，牛顿和莱布尼兹似乎驯服了时间，使得我们可以准确地描述运动物体的行为，如同古希腊人描述静止物体一般。至少在原则上，对于一个行星环绕一个恒星或是一个人试图躲开一支箭的问题来说，使用微积分则很简单。如同其他事物一样，当我们面对更复杂的系统时，基本原则仍旧适用，但处理起来也会更加复杂。通常我们可以很快地写出一组微分方程式来描述一个复杂系统，而麻烦往往是出现在对方程式求解（积分）的过程中。

不论 1684 年牛顿在私底下用的是什麼数学方法，他在《原理》中利用科学家熟悉的技巧证明了，为了使行星以椭圆轨道环绕太阳运行（以观测结果和理论一致），重力必须遵循反平方定律。说得具体一点，就是在一定距离下，两个物体产生的引力，会和物体质量的乘积除以距离的平方成正比（因此称为反平方定律）。公式中的比例常数就是重力常数，这个以 G 表示的数值告诉我们重力强度有多大，以简单的公式表示为 $F = \frac{GMm}{r^2}$ 。

放之四海而皆准的定律

牛顿的发现对其他科学家来说并不完全是个意外。包括物理学

^① 阿基米德有一卷丢失了几个世纪的手稿，在 20 世纪后期才被发现，其中显示这个伟大的古希腊数学家，在 2000 年前就已发明了积分的原理。牛顿和莱布尼兹当然不知道这段故事，但它提供了看待他们谁先谁后争论不休的另一种角度。

家罗伯特·胡克（Robert Hooke, 1635—1703）、天文学家埃德蒙·哈雷（Edmond Halley, 1656—1742）以及著名建筑师克里斯托弗·雷恩（Christopher Wren, 1632—1723）在内，所有英国皇家学会会员都知道，反平方定律会造就椭圆轨道。而牛顿的成就在于他证明了只有反平方定律才能造就椭圆轨道，所以重力必须符合反平方定律。不只如此，他的研究还代表了一个放之四海而皆准的定律，这个定律不仅适用于从树上掉下的苹果，或者环绕地球的月球，或是环绕太阳的行星，也适用于任何时间，不管是夏天或特定月份——它适用于宇宙中任何物体在任何地方相互间产生的引力。牛顿使宇宙看起来像是个有秩序的地方，让不可捉摸的神没有立足之地。^①他还提出了三条运动定律来描述运动物体的行为，无论是在实验室里、地球上，或在太阳系及更远的地方。依照推论，这三条运动定律被视为和万有引力定律一样，适用于任何时空。

现在来谈谈牛顿的三个运动定律。三条定律支撑了科学 300 多年，但却可以被很简单地叙述，这也突显了透过科学眼光看世界的发展过程。牛顿的第一运动定律说，任何物体都会保持静止或是匀速直线运动状态，直到外力迫使它改变运动状态为止。“静止”状态和我们的常识相符（根据在地球上的日常经验）；物体不会动，除非有东西迫使它们动。但以直线匀速运动就和常识不符了；当我们在地球上让某个东西运动时，如果放任不管，它终将静止于地面。牛顿发现物体只有受到外力（重力）时才会落到地面，只有受到其他的力（摩擦力）才会停止。牛顿能够想象出没有摩擦力和其他外力的世界，虽然他不曾看过今天在几乎无重力、无摩擦力的宇宙飞船里，物体遵循牛顿定律的景象。

第二运动定律告诉我们物体运动受到外力影响的程度：当一股力量

^① 值得一提的是，1609年，开普勒认为一定是有某种东西使得行星维持在它们环绕太阳的轨道上，他称之为“圣灵力量”，当时没人嘲笑他。