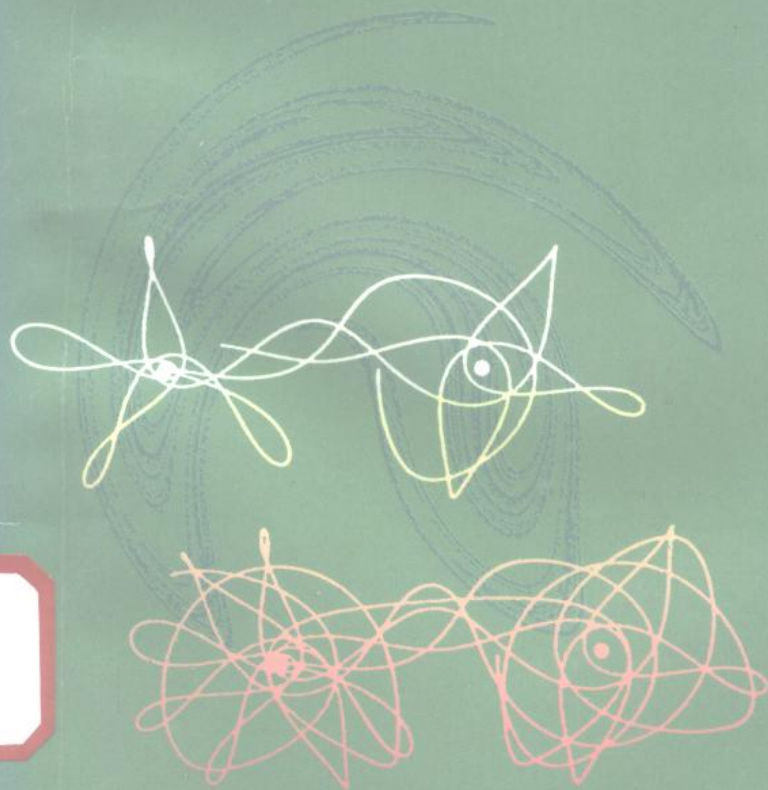


# 上帝掷骰子吗

## 混沌之数学

[英]伊恩·斯图尔特 著



上海远东出版社

自

然

科

学

译

丛

383856

自

# 上帝掷骰子吗

## 混沌之数字

[英]伊恩·斯图尔特 著

潘涛 译

朱照宣 校

陈以鸿 审订

然

科



学

译

上海远东出版社

丛

N94

S78

# 上帝掷骰子吗？

——混沌之数学

[英]伊恩·斯图尔特 著

潘 涛 译 朱照宣 校

陈以鸿 审订

上海远东出版社



上帝掷骰子吗？

——混沌之数学

[英]伊恩·斯图尔特 著

潘涛 译 朱照宣 校

陈以鸿 审订

上海远东出版社出版发行

(上海冠生园路 393 号 邮政编码 200233)

全国新华书店经销 常熟高专印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 11.125 字数 276000

1995 年 10 月第 1 版 1995 年 10 月第 1 次印刷

印数 1-5500

ISBN 7-80613-000-4/N·22 定价:16.00 元

## 引言 是钟表还是混沌？

**你信仰掷骰子的上帝，我却信仰完备的定律和秩序。**

爱因斯坦给玻恩的信<sup>①</sup>

有一种理论认为历史周而复始地演进。但是，人类活动的进程好比螺旋上升的楼梯，是在新的层次上经历一周的。文化变迁的“摆的摆动”并非简单地反复重演同样的事件。姑且不论上述理论正确与否，反正它成了一个引人注目的隐喻。本书的论题正是叙述一个这样的螺旋环：混沌<sup>②</sup>让位于秩序，秩序又产生新形式的混沌。但在这种“摆的摆动”过程中，我们不求破坏混沌，而图驾驭混沌。

在我们人类遥远的过去岁月中，大自然被当作变幻莫测的造物，物质世界的缺乏秩序被归咎于操纵它的法力无边、不可理喻的诸神的随心所欲。混沌泛滥成灾，规律无法想象。

几千年间，人类逐渐认识到，大自然有许多可以被记录、分析、预言和利用的规律性。到18世纪，科学在揭示自然界的规律方面成就斐然，使得不少人以为尚待发现的定律寥寥无几。亘古不变的定律精确而永远地规定了宇宙中每一个粒子的运动：科学家的任务乃是针对人们感兴趣的任何特殊现象阐明这些定律的意义。混

---

① 引自《爱因斯坦文集》第1卷第415页，许良英、范岱年编译，商务印书馆，1976年。原话全文见本书第十四章。引自爱因斯坦1944年9月7日给玻恩的信。——译者注

② 或译浑沌。——译者注

沌让位于钟表世界。

但是，世界运动不息，我们的宇宙观亦随之而发展。如今，连我们的时钟都不用发条机构制成，为什么我们的世界却应当如此呢？随着量子力学的诞生，钟表世界业已变成一张宇宙彩票。诸如放射性原子衰变这样的基本事件，都被认为决定于偶然，而不是决定于定律。尽管量子力学取得了非凡的成功，它的概率特征却还没有被普遍接受。这篇引言的开头引述了爱因斯坦(Albert Einstein)<sup>①</sup>在给玻恩(Max Born)<sup>②</sup>的信中提出的著名异议。虽然爱因斯坦指的是量子力学，可是他的哲学也代表了整个时代对经典力学所取的态度，而在经典力学中，量子不确定性是无效的。对偶然性而言，骰子的隐喻完全适用。确定性给不给偶然性留一席之地呢？

爱因斯坦对量子力学的看法是否正确，尚待分晓。然而我们的确知道，经典力学世界甚至比爱因斯坦想象的还要更加不可思议。他力图突出偶然性的无规性与定律的确定性之间的差别，这一点是大有疑问的。上帝或许能在掷骰子的同时，创造出定律完备和秩序井然的宇宙万物。

循环在更高的层次上轮回。因为我们开始发现，那些遵循不变的、精确的定律的系统并不总是以可预言的、规则的方式运作。简单的定律可能不产生简单的性态。确定性的定律会产生貌似无规的性态。秩序能孕育出自身特有的混沌。问题与其说在于上帝是否掷骰子，不如说在于上帝怎样掷骰子。

这是一个重大发现，它的意蕴必将对我们的科学思维形成强大的冲击。从混沌的观点来看，预言(或可重复性实验)的概念焕然一新。我们过去以为简单的事物变得复杂了，与测量、可预言性和验证(或否认)理论有关的一些令人困惑的新问题产生了。

相反，我们过去以为复杂的事物倒可能变得简单了。看来无结

---

① 爱因斯坦(1879~1955)，德国-瑞士-美国物理学家。——译者注

② 玻恩(1882~1970)，德国-英国物理学家。——译者注

构的、无规的现象实际上可能遵循着简单的定律。确定性混沌自有其一定的规律,并且带来了全新的实验技术。大自然中不乏一些不规则性,其中有些不规则性,可以证明是混沌之数学的物理表现形式。流体的湍流,地球磁场的反转,心搏的不规则,液氮的对流模式,天体的翻转,小行星带中的空隙,虫口的增长,龙头的滴水,化学反应的进程,细胞的代谢,天气的变化,神经冲动的传播,电子电路的振荡,系缆于浮筒的船只的运动,台球的反弹,气体中原子的碰撞,量子力学的内在不确定度——这些仅是已应用过混沌之数学的问题中的一部分。

这是一个崭新的世界,一种新的数学,在认识大自然中的不规则性方面一个举足轻重的突破。我们正目睹着它的诞生。

它的未来不可限量!

# 目 录

引 言 是钟表还是混沌? .....	(1)
<b>第 一 章 混沌出自秩序</b> .....	(1)
无理的论理(3)	混沌(13)
钟表世界(5)	计算器混沌(14)
向土卫七旅行(8)	印度教与机械维护技术(19)
<b>第 二 章 万应方程</b> .....	(21)
宇宙旋转(22)	钟声和笛声(35)
来自希腊的齿轮(23)	风和波(37)
中心的太阳(26)	被分析抛弃(38)
摆的摆动(27)	当铺里的数学(39)
引力和几何学(31)	重新表述时期(40)
世界的体系(33)	市场中的纠纷(42)
<b>第 三 章 误差定律</b> .....	(44)
赌博收益(45)	技术转移(53)
平均人(47)	荷兰混沌(54)
遗传天赋(49)	省掉一个范式?(56)
<b>第 四 章 最后一个通才</b> .....	(58)
心不在焉的沉思者(60)	橡皮动力学(64)
数学奥斯卡(62)	疯也似地奔向四面八方(66)



永恒的三角关系(68)

天体混沌(72)

一个拓扑学问题(70)

## 第五章 单向摆 ..... (75)

你要是不能胜,就骗(77)

比摩擦更奇妙(90)

能量面上的几何学(80)

多维传奇(92)

非象类动物学(84)

$n$  维空间中的动力学(97)

把它卷起来.....(88)

## 第六章 奇怪吸引子 ..... (99)

光阴似箭(100)

吸引子(114)

汇(102)

包绕映射(116)

源(103)

混沌的足迹(118)

鞍(104)

庞加莱截面(120)

极限环(105)

纬垂中的螺线管(123)

典型地,正是如此(107)

康托尔干酪(127)

旋转一只猫(108)

真正的混沌(130)

洞见,而不是浅见(110)

嘲讽对话(131)

结构稳定性(112)

## 第七章 天气预报厂 ..... (132)

辉煌的失败(132)

勇于自做对流(141)

气候象棋(133)

拥有计算机的好处(143)

在零和无穷大之间(134)

蝴蝶效应(146)

百万次浮点运算(135)

天气——究竟行不行?(149)

本质上的数学家(139)

拉伸和折叠(150)

## 第八章 混沌的制法 ..... (152)

- 拉伸和折叠(153)
- 从雷达到马蹄(155)
- 动力学波伦亚酱(157)
- 磁阱(159)
- 千层饼(160)
- 在比顿之外(162)
- 逻辑斯蒂映射(163)
- 定态区(164)
- 周期倍化级联(166)
- 混沌中的秩序(168)
- 大蚤,小蚤……(170)

## 第九章 敏感的混沌…………… (174)

- 探测深度(176)
- 累积摆振(178)
- 靠不住的方案(181)
- 可证伪性(183)
- 实验室典范(184)
- 激光器照明(188)
- 交往(191)
- 赝可观测量(192)
- 奇怪的化学(195)
- 回到芭蕉(198)

## 第十章 无花果树和费根值…………… (202)

- 宇宙汪洋中的漂流瓶(203)
- 别扰动——重正化!(205)
- 没有计算机的好处(207)
- 蛇与熊(210)
- 重正化(212)
- 费根鲍姆映射(214)
- 费根值(217)
- 双刃剑(218)
- 湍流空想(220)
- 冷和静(222)
- 氮卷(223)

## 第十一章 实体的脉络…………… (226)

- 测量的标度(227)
- 雪花和海岸线(228)
- 一又四分之一维(231)
- “别碰几何学”(232)
- 硅谷(234)
- 聚集和逾渗(236)
- 油和水怎么会不混合(237)
- 宇宙和万物(239)
- 分形赝品(241)
- 云和雨(243)

实质上的姐妹(245)	分形牛(253)
姜饼人(246)	
<b>第十二章 再论土卫七</b> ..... (255)	
宇宙马铃薯(256)	柯克伍德空隙和
吸血鬼幽灵(257)	希尔达星群(268)
自旋轨道几何学(260)	高偏心率峰(270)
潮汐式摩擦(262)	火星清扫工(272)
那是怎么发生的(263)	数字太阳系仪(273)
共振(264)	
<b>第十三章 自然界的失衡</b> ..... (276)	
鲨鱼和小虾(278)	水痘(289)
超光速兔(279)	心搏骤停!(291)
增长的极限(281)	踢发转子(293)
条件组合(283)	王后屈尊(294)
大谈绿头蝇(284)	鸡心(295)
摆振平衡(287)	医学数学(297)
<b>第十四章 别了,沉思机</b> ..... (299)	
巨智者与大智者(300)	量子混沌学(310)
设计者混沌(303)	骰子与确定论(314)
双(计算)机记(304)	万变不离其宗.....(316)
不可重复的实验(305)	条纹命运(318)
梦游混沌(307)	照明和支撑(319)
为现实数学而战(308)	
<b>尾    声 与上帝对掷</b> ..... (322)	

进一步的读物.....	(323)
索 引.....	(327)
《上帝掷骰子吗?》中译本荐言(朱照宣) .....	(337)
译后记.....	(339)

## 第一章 混沌出自秩序

瞧！您那可怕的“混沌”帝国复辟了；  
光亮在您那寂灭诏令之下消失了；  
伟大的暴君啊！您亲手降下帷幕；  
无边的黑暗埋葬了一切。

蒲柏(Alexander Pope),《群愚史诗》  
(*The Dunciad*)<sup>①</sup>

秩序与无秩序、和谐与混沌之间无休止的斗争，必然反映了人类对宇宙万物的一种深邃直觉，因为它为如此之多的创世神话和如此之多的文化所共有。在古希腊的宇宙观中，混沌既是宇宙的原始虚空，又是死者居住的地下世界。在《旧约全书》的教义里，“大地没有形式，也没有内容，在深渊的表面上只有黑暗”。在一部早先的巴比伦史诗里，当一个不守规矩的海神家族被自己的父亲毁灭时，世间万物从接踵而来的混沌中产生。混沌是原始的不成形的团块，造物主把它捏成有秩序的宇宙(图1)。秩序等同于善，无秩序等同于恶。秩序和混沌被看作相反的两极，我们对世界的解释就以这两极为立足点。

---

<sup>①</sup> 蒲柏(1688~1744),英国诗人。《群愚史诗》(1728)是一部模仿史诗体的讽刺作品。这里所引的是全诗最后四句。——译者注

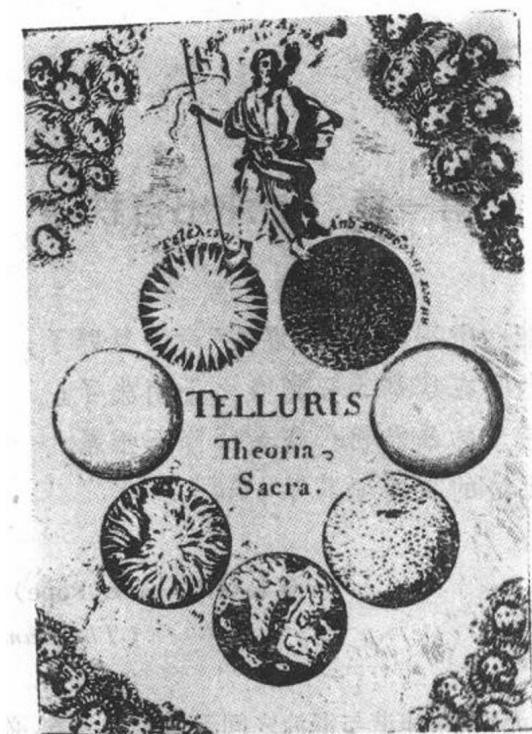


图1 地球史(从右上方起顺时针依次):混沌的汪洋,原始地球,洪水期地球,现代地球,未来大火灾期地球,千年期地球,地球这颗星球的末日  
[引自伯内特(Thomas Burnet)①,《神圣的地球理论》(*Telluris theoria sacra*, 1681)]

某种与生俱来的冲动,促使人类力图理解自然界中的规则性,寻找宇宙万物难以捉摸的复杂性背后的法则,从混沌求出秩序。甚至最早的文明就已经拥有预测季节的精奥历法,和预测日月食的天文律条。人们观看苍穹中的星象,围绕星象编织动人的传说。人

① 伯内特(约 1635~1785),地质学家。——译者注

们构想出冥冥众神来解释世界的变化莫测,如果不这样解释,这世界将是无规和无意义的。循环,形状,数字,数学。

## 无理的论理

物理学家维格纳(Eugene Wigner)<sup>①</sup>把物理世界的结构说成是“不合理的数学有效性”。数学起源于物理世界所涉及的问题,它靠供给一些解答而立足于世。但是进程很少是笔直的。数学概念往往必须像弃儿一样自生自灭,作为纯粹的数学对象,为了自身的缘故而被发展和研究,直到它的内在奥秘被揭开,它的物理意义被阐明。或许数学是有效的,因为它代表人脑的深层语言。或许只有数学规律是我们所能领悟的规律,因为数学是我们感知的工具。或许数学在组织物质实在方面是有效的,因为它是由物质实在产生的。或许数学的成功是一个宇宙幻想。或许并不存在真正的规律,只有我们愚莽地强加的那些规律。这些问题留给哲学家去解决。实用主义的现实是,数学是我们所知道的用来认识我们周围事物的最有效、最可靠的方法。

我写作本书的1987年,正值一部史无前例的著作——牛顿(Isaac Newton)<sup>②</sup>(图2)的《自然哲学之数学原理》(*Mathematical Principles of Natural Philosophy*)<sup>③</sup>——出版300周年。现在这部书每年仍售出700本左右——买主主要是那些据第一手资料研习名家作品的文科大学生们。它的生命力令人惊叹不已,但它不再是畅销书了。不过它的精髓业已融入了我们文化的根基之中。

---

① 维格纳(1902~ ),匈牙利-美国物理学家。——译者注

② 牛顿(1642~1727),英国物理学家和数学家。——译者注

③ 中译本《自然哲学之数学原理》,王克迪译,袁江洋校,武汉出版社,1992年。——译者注



图2 牛顿[据内勒(Godfrey Kneller)①的油画雕版]

那就是：大自然有规律，我们能够发现它们。

牛顿的万有引力定律简单得很。宇宙中每两个物质粒子都相互吸引，吸引力以精确而简单的方式依赖于它们的质量和它们之间的距离。（吸引力与两质量的积成正比，与间距的平方成反比。）万有引力定律可以浓缩成一个简洁的代数公式。它同另一个牛顿定律——运动定律（物体的加速度与作用于物体上的力成正比）——结合，可以解释浩瀚的天文观测结果，从经过黄道带的行

---

① 内勒(1646 或 1649~1723),英国肖像画家。——译者注



星轨道到月球在月轴上的颤震,从木卫的同步共振到双星的光变曲线,从土星环中的空隙到星系的孕生,等等。

简单。优美。绝妙。

秩序出自混沌。

牛顿是一个雄心勃勃的人。他不折不扣地探寻“世界的体系”<sup>①</sup>,探寻“万物的至理”。

从他那个时代的条件出发,他获得了梦想不到的成功。牛顿定律以大自然的终极描述的姿态占居崇高的统治地位达两个世纪以上。只是在原子的微观领域,以及星际空间的宇观范围内,才暴露出牛顿的自然图景与自然界本身的图景之间的细微差异。在那些领域,牛顿力学已被量子力学和相对论所取代。如今又一次寻求着万物至理这一圣物的物理学家们,谈论的是超引力和超弦,夸克和色动力学,对称性破缺和大统一理论。我们生活在一个 26 维(或仅仅 10 维)的世界里,其中除 4 维外,都酷似受惊的狢狢那样紧紧蜷曲起来,仅仅由于它们的颤抖才能被察觉。是一时流行的风尚,还是我们未来的幻象?我们无言以答。但是当理论替代理论,范式推翻范式的时候,有一样东西是经久长存的:数学关系。大自然的规律是数学规律。上帝是几何学家。

## 钟表世界

以牛顿为顶峰的科学思想革命,导致把宇宙视为某种巨大的机械装置,它的作用“像钟表机构”(我们仍用这个短语——尽管在数字式手表时代这是不合时宜的——来代表可靠性和机械完善性方面的极致)。从这种观点看来,机器最首要的是可以预言,即在相同的条件下将做同样的事情。一名了解机器的性能和它在任一时

---

<sup>①</sup> 《自然哲学之数学原理》第三编标题。——译者注