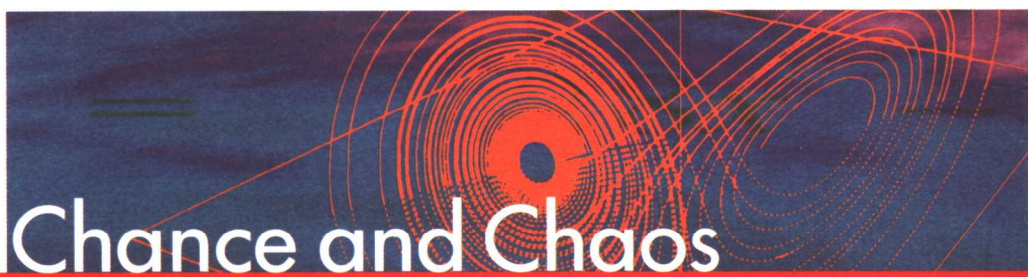




开放人文

机遇与混沌



Chance and Chaos

[法] 大卫·吕埃勒 著 刘式达 梁爽 李滇林 译

David Ruelle

上海世纪出版集团

机遇与混沌

[法] 大卫·吕埃勒 著 刘式达 梁爽 李滇林 译

世纪出版集团 上海科技教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

机遇与混沌/(法)吕埃勒(Ruelle, D.)著;刘式达等译.

—上海:上海科技教育出版社,2005.4

(世纪人文系列丛书)

ISBN 7-5428-3792-3

I. 机... II. ①吕...②刘... III. 混沌学—

普及读物 IV. O415.5-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 010054 号

责任编辑 潘 涛 侯慧菊

装帧设计 陆智昌

机遇与混沌

[法]大卫·吕埃勒 著

刘式达 梁 爽 李滇林 译

出 版 世纪出版集团 上海科技教育出版社

(200235 上海冠生园路 393 号 www.ewen.cc)

发 行 上海世纪出版集团发行中心

印 刷 商务印书馆上海印刷股份有限公司

开 本 635×965 mm 1/16

印 张 11.75

插 页 4

字 数 141 000

版 次 2005 年 4 月第 1 版

印 次 2005 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7-5428-3792-3/N·660

图 字 09-2000-299 号

定 价 17.50 元

世纪人文系列丛书编委会

主任

陈 昕

委员

丁荣生	王一方	王为松	王兴康	包南麟	叶 路
张晓敏	张跃进	李伟国	李远涛	李梦生	陈 和
陈 昕	郁椿德	金良年	施宏俊	胡大卫	赵月瑟
赵昌平	翁经义	郭志坤	曹维劲	渠敬东	潘 涛

出版说明

自中西文明发生碰撞以来，百余年的中国现代文化建设即无可避免地担负起双重使命。梳理和探究西方文明的根源及脉络，已成为我们理解并提升自身要义的借镜，整理和传承中国文明的传统，更是我们实现并弘扬自身价值的根本。此二者的交汇，乃是塑造现代中国之精神品格的必由进路。世纪出版集团倾力编辑世纪人文系列丛书之宗旨亦在于此。

世纪人文系列丛书包涵“世纪文库”、“世纪前沿”、“袖珍经典”、“大学经典”及“开放人文”五个界面，各成系列，相得益彰。

“厘清西方思想脉络，更新中国学术传统”，为“世纪文库”之编辑指针。文库分为中西两大书系。中学书系由清末民初开始，全面整理中国近现代以来的学术著作，以期为今人反思现代中国的社会和精神处境铺建思考的进阶；西学书系旨在从西方文明的整体进程出发，系统译介自古希腊罗马以降的经典文献，借此展现西方思想传统的生发流变过程，从而为我们返回现代中国之核心问题奠定坚实的文本基础。与之呼应，“世纪前沿”着重关注二战以来全球范围内学术思想的重要论题与最新进展，展示各学科领域的新近成果和当代文化思潮演化的各种向度。“袖珍经典”则以相对简约的形式，收录名家大师们在体裁和风格上独具特色的经典作品，阐幽发微，意趣兼得。

遵循现代人文教育和公民教育的理念，秉承“通达民情，化育人心”的中国传统教育精神，“大学经典”依据中西文明传统的知识谱系及其价值内涵，将人类历史上具有人文内涵的经典作品编辑成为大学教育的基础读本，应时代所需，顺时势所趋，为塑造现代中国人的人文素养、公民意识和国家精神倾力尽心。“开放人文”旨在提供全景式的人文阅读平台，从文学、历史、艺术、科学等多个面向调动读者的阅读愉悦，寓学于乐，寓乐于心，为广大读者陶冶心性，培植情操。

“大学之道，在明明德，在新民，在止于至善”（《大学》）。温古知今，止于至善，是人类得以理解生命价值的人文情怀，亦是文明得以传承和发展的精神契机。欲实现中华民族的伟大复兴，必先培育中华民族的文化精神；由此，我们深知现代中国出版人的职责所在，以我之不懈努力，做一代又一代中国人的文化脊梁。

上海世纪出版集团
世纪人文系列丛书编辑委员会
2005年1月

绪 言

Suum habet fortuna rationem *

“机遇有其原因”，佩特罗尼乌斯(Petronius)说。但我们也许会问：什么原因？并且，什么是机遇呢？机遇是怎么出现的？未来如何不可预测？物理学和数学对这些问题给出了一些答案。答案是谨慎的，且有时只是试探性的，但仍然值得了解，这些正是本书的主题。

物理学定律是确定性的。那么，机遇又是如何进入到对宇宙的描述中去的呢？正如将要看到的那样，它通过许多途径表现自己。我们还将看到，未来的可预测性(predictability)受到严格的局限。我对于机遇和不可预测性(unpredictability)各个方面的介绍将大部分遵循公认的(或可接受的)科学思想，无论新旧。特别是，我将详细探

* 拉丁文：机遇有其原因。——译者

讨论混沌这一现代思想。所采用的方式肯定是非专业的，可以在本书中找到的少量方程都能够被忽略而不必担心会有多少损失。原则上，中学物理和数学就足以用来理解本书的正文部分了。然而，我在尾注中就不大受限制了：它们的范围从非专业的注释，到针对我的那些同行们的非常专业的参考文献。

提到科学同行，他们中一些人将会因为我对科学家和科研领域不那么辉煌的描述而感到不安。对此，我并无歉意：如果科学是对真理的探讨，那么对于科学是如何做出来的，难道不应该讲真话吗？

1990 年夏

于 Bures-sur-Yvette

致 谢

在写作本书过程中，我得益于与许多同行的讨论。他们之中，我特别感激戈尔茨坦(Shelly Goldstein)，尽管他或许会对我最终写就的文本感到沮丧。尼古拉·吕埃勒(Nicolas Ruelle)对文风的改进提出了有用的建议。怀特曼(Arthur Wightman)和沃德(Laura Kang Ward)为捍卫英语而高贵地战斗。上田晚亮(Yoshisuke Ueda)和兰福德(Oscar Lanford)再现了精美的计算机图形结果。最后，德尔诺伊斯(Helga Dernois)沉着而坚毅地将相当凌乱的手稿打印出来。感谢他们所有这些人。

目录

1	绪言
3	致谢

1	1. 机遇
6	2. 数学和物理学
12	3. 概率
18	4. 抽彩和星象
25	5. 经典决定论
34	6. 博弈
40	7. 初条件敏感依赖性
46	8. 阿达马、迪昂和庞加莱
52	9. 湍流：模态
59	10. 湍流：奇怪吸引子
67	11. 混沌：一个新的范式
75	12. 混沌：影响
83	13. 经济学

89	14. 历史的演化
94	15. 量子：概念框架
102	16. 量子：清点状态
108	17. 熵
114	18. 不可逆性
120	19. 平衡态统计力学
127	20. 沸腾的水和地狱之门
134	21. 信息
141	22. (算法)复杂性
148	23. 复杂性与哥德尔定理
155	24. 性的真意
161	25. 智能
167	26. 结语：科学

1. 机 遇

巨型计算机有朝一日很快就会开始与数学家竞争，且也许就此而使数学家永远失业。至少我是对我杰出的同行——比利时数学家德利涅(Pierre Deligne)这么说的。为了惹恼他，我提到了一些已经在下棋方面表现极佳的机器，和只有在计算机的帮助下才能完成的四色定理的证明。¹当然，目前的机器还只是用于从事重复性的甚至有点愚蠢的工作。但没有理由认为它们不能变得更加灵活和万用，不能以更快的速度和更高的精度模仿人的智能行为。这样在50或100(也许200)年内，不仅计算机会帮助数学家工作，而且我们还会发现它们能够采取主动，引入新的富有成果的定义，提出假设，然后得到远远超出人类智慧能力之外的定理证明。毕竟，我们的大脑并不是以推演数学为目的、而是以帮助我们打猎、觅食、打仗和维持社会关系为目的的自然演化塑造出来的。

当然，德利涅对于我有关数学未来的想法并没有显出很大的热情。稍微迟疑了一会儿，他告诉我只有那些他独自能够全部理解的

结果才能使他感兴趣。他说，这就排除了一方面在计算机的帮助下得到的定理，另一方面一些得自许多数学家的工作，而非一个人能够完成的非常长的数学证明。他这里暗指那个著名的有关简单有限群分类的定理证明。²这个证明由许多部分组成，长达 5000 多页。

基于我刚才所说的，人们可以很容易地描绘出一幅关于科学现状及其未来的不祥景象。确实，如果对于一个数学家来说，独自精通一个问题——仅仅一个定理证明——变得很难的话，那么他在科学上其他学科的同行们的情况会更糟。无论是物理学家还是医生，为了更有效地工作，必须借助于他们所不能理解的工具。科学是无所不在的，但效力于它的人却是专业化的，而且他们的见解常常有限。毫无疑问，自从科学诞生以来，科学研究的智力和社会背景都已经改变了很多。现在我们所谓的科学家当时被称为哲学家，他们努力想得到对我们这个世界的全局认识，得到自然事物的综合认识。伟大的牛顿(Isaac Newton)就曾特别地致力于数学、物理、金丹术、神学以及和预言有关的历史研究。³难道我们已经放弃孕育了科学的哲学探索吗？

从来没有，哲学探索虽然用了新的方法但仍然是一切的中心。这就是我将要在这本小册子里所要努力说明的。因此，这里的讨论将没有科学超凡的技术本领，没有火箭和粒子加速器，没有医学突破和核危机，也没有形而上学。我将带上 17 世纪或 18 世纪诚实人的哲学眼镜，来回顾 20 世纪的科学成就。我的回顾将以机遇(chance)为向导——字面上讲——因为机遇研究是我将追随的线索。

机遇、不确定性和盲目的运气，不是很消极的概念吗？它们不都是些属于占卜术士的而不属于科学家的范畴吗？事实上，对机遇

的科学探索是可行的，它起始于帕斯卡(Blaise Pascal)、费马(Pierre Fermat)、惠更斯(Christiaan Huygens)和伯努利(Jacques Bernoulli)对机遇游戏的分析。在这些分析的基础上诞生了概率运算，其长期被认为是数学的一个小分支。概率运算的一个中心事实是，如果大量重复抛掷一枚硬币，那么正面向上(或反面向上)的比例将接近 50%。在这个例子中，虽然每次抛硬币的结果是完全不确定的，但是大量抛掷却会产生一个大致确定的结果。这种当我们观测大量事件或大系统时从不确定(uncertainty)到大致确定(near certainty)的转变，是机遇研究的一个基本主题。

在 1900 年左右，许多物理学家和化学家仍然否认物质是由原子和分子组成的。另外有一些则早已接受了这样的事实：在一升空气中有多得难以置信的分子，它们沿各个方向高速运动，并以非常可怕的无序状态相互碰撞。这种被称为分子混沌(molecular chaos)的无序(disorder)是存在于小体积中的大量随机性(randomness)——或机遇。有多少随机性？有多少机遇？这些问题非常有意义，而奥地利人玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann)和美国人吉布斯(J. Willard Gibbs)在 1900 年左右创立的物理学的的一个分支——统计力学——给出了一个答案。一定温度下，一升空气或一千克铅中的机遇量可以用这一升空气或一千克铅中的熵(entropy)来衡量，现在我们已经有了办法很精确地确定这些熵的大小。我们发现机遇是可以被驯服的，它对于认识物质至关重要。

你或许会因此而认为随机或偶然发生的事都没有什么意义。稍微思考一下就会发现事实不是这样的：在一个给定的人群中血型是随机分布的，但是在输血时是 A+ 还是 O- 并不是没有意义的。美国数学家香农(Claude Shannon)在 20 世纪 40 年代晚期创立的信息论

(information theory)允许我们计算原则上有意义的消息(messages)中所蕴涵的信息(information)。我们将要看到,一条消息中的平均信息被定义成是一组可能消息中机遇(或随机性)的总量。为了表明这是一个自然的定义,请注意通过选择一条消息,人们就破坏了这一组可能消息中所呈现的随机性。因此,信息理论就和统计力学一样,也与计算随机性的总量有关。所以这两个理论是紧密相关的。

谈到有意义的消息,我想谈谈一些载有特别重要信息的消息:遗传消息(genetic messages)。如今,公认的事实是,动物和植物的遗传特征由染色体中的DNA传递。DNA(脱氧核糖核酸)也存在于细菌和病毒中(在有些病毒中,它被核糖核酸所替代)。DNA被证明是一条由四种元素组成的长链,这四种元素可以用A, T, G, C四个字母代表。因此,遗传特征就是用这个四字母字母表写成的长长的消息串。当细胞分裂的时候,这些消息被复制,并伴随一些随机的错误;这些错误就是所谓的突变(mutations)。因此,这些新的细胞或个体就和它们的祖先有了一点儿不同,从而更能够或不太能够存活和繁衍。然后,自然选择保留一些个体,而淘汰掉不太适应或不太幸运的那些个体。所以,关于生命的基本问题可以表述为,在有机遇存在的情况下,遗传消息的创造和传递。生命起源和物种演化的重要问题并没有因此而解决,但是通过用信息的创造和传递来表述这些问题,我们将获得一些具有启发性的观点以及一些相当明确的结论。

但是在探索机遇在生命过程中的创造性作用之前,我想带领你,我的读者,去长途巡看其他相当多的问题。我们将讨论统计力学和信息论;我们将谈到湍流、混沌以及机遇在量子力学和博弈论中的作用。我们还会扯开话题,去谈谈历史决定论、黑洞、算法复

杂性等等。

我们这个长长的巡游将沿着两大智力领域间的边界线进行，一边是严格的数学，另一边是包括所有自然科学的广义上的物理学。同时，密切关注以其勇敢和常常悲惨的努力去领会事物本质的人类心智(或大脑)的活动，也将会很有趣。在机遇问题之外，我们还会试着去了解数学的奇妙，物理世界的奇妙和我们人类心智的奇妙之间的某种三角关系。作为开始，我想讨论一下数学和物理学的一些游戏规则。

注 释：

1. 四色定理。设想我们有一张地图或一个地球仪，上面标示着不同的国家。为了简单起见，我们假设没有海洋。并且，各个国家之间彼此相连(而不是由相互分离的一块一块组成的)。我们想给每个国家标上某种颜色，从而使具有共同边界的两个国家的颜色不同。(我们允许边界上只有有限的几个共同点的两个国家颜色相同。)我们需要多少种颜色呢？答案是：无论何种情况下，四种颜色就足够了。这就是四色定理。

四色问题的解决归功于阿佩尔(Kenneth Appel)和哈肯(Wolfgang Haken)。学术论文是：K. Appel and W. Haken, "Every planar map is four colorable, Part I: Discharging," *Illinois J. Math.* 21 (1977): 429~490; K. Appel, W. Haken, and J. Koch, "Every planar map is four colorable, Part II: Reducibility," *Illinois J. Math.* 21 (1977): 491~567。

更多的普及说明，请参看 K. Appel and W. Haken, "The solution of the four-color-map problem," *Scientific American*, October 1977, pp. 108~121; K. Appel and W. Haken, "The four color proof suffices," *The Mathematical Intelligencer* 8 (1986): 10~20。

2. 有关列举简单有限群问题的简要介绍，请参看 J. H. Conway, "Monsters and Moonshine," *The Mathematical Intelligencer* 2 (1980): 165~171。应该指出的是，简单有限群的分类问题涉及到许多计算机的工作和数学家们非常大量的时间。

3. 牛顿的传记中，最权威的是韦斯特福尔(R. Westfall)所著的 *Never at Rest* (Cambridge: Cambridge University Press, 1980)。牛顿各种智力爱好之间的相互影响是令人着迷的。这些爱好包括从数学、物理学上最伟大的成就，到有关金丹术、历史和宗教等会导致其声名狼藉的臆想(以现在的标准来看)。对牛顿智力成果进行审查，裁定出一些优秀的，剩下的最好忘掉，这似乎是一个相当吸引人的主意。然而，如果想要了解牛顿头脑中智力创造的发展过程，我们不能遗忘他的那些不光彩的臆想。在他想攫取宇宙意义的欲望中，对预言或金丹术研究的重要性绝不亚于他在万有引力或微积分学上的工作。显然，有关牛顿的头脑是如何运作的，还有很多有待了解。韦斯特福尔的书似乎显现了这样一个不幸的事实：伟大的牛顿显然没有任何可以辨认得出的幽默感。

2. 数学和物理学

数学才能常常发展于年龄比较小的时候。这是个普遍的现象，俄罗斯著名数学家柯尔莫哥洛夫(Andrei N. Kolmogorov)添加了一个奇特的见解。他认为，恰恰就在数学才能开始显现的时候一个人自身的正常心理发展就停止了。照这样说，柯尔莫哥洛夫给自己的心理年龄是12岁。而他给他的同胞，很长一段时间都是苏联科学院里非常有实力和受到敬畏的成员，维诺格拉多夫(Ivan M. Vinogradov)的心理年龄，只有8岁。按照柯尔莫哥洛夫的说法，维诺格拉多夫院士8岁的年龄正相应于小男孩扯掉蝴蝶翅膀，把旧铁罐儿系在猫尾巴上的时候。

或许为柯尔莫哥洛夫的理论找一些反例并不难，¹但这个理论显然常常都是对的。想起一个同事的极端例子：他的心理年龄只有6岁左右，这就引来了一些实际问题，例如当他不得不单独旅行的时候。这位同事作为一名数学家，表现得相当不错，但我想，在攻击性要强得多的物理学界，他是难以生存的。