



宇宙的规则

..... The Rule of Universe

决定论 or 随机论

Determinism or Stochasticism

宇宙的规则

The Rule of Universe

决定论 or 随机论

Determinism or Stochasticism

胡先笙 / 著



图书在版编目(CIP)数据

宇宙的规则 / 胡先笙著. — 北京: 北京时代华文书局, 2018. 11
ISBN 978-7-5699-2660-6

I. ①宇… II. ①胡… III. ①物理学—普及读物 IV. ①04-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第239121号

宇宙的规则

Yuzhou de Guize

著 者 | 胡先笙

出 版 人 | 王训海

选题策划 | 高 磊

责任编辑 | 余 玲 高 磊

封面设计 | 天行健设计

版式设计 | 段文辉

责任印制 | 刘 银

出版发行 | 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街136号皇城国际大厦A座8楼

邮编: 100011 电话: 010-64267955 64267677

印 刷 | 固安县京平诚乾印刷有限公司 0316-6170166

(如发现印装质量问题, 请与印刷厂联系调换)

开 本 | 787mm×1092mm 1/16 印 张 | 16 字 数 | 245千字

版 次 | 2019年6月第1版 印 次 | 2019年6月第1次印刷

书 号 | ISBN 978-7-5699-2660-6

定 价 | 58.00元

版权所有, 侵权必究

《宇宙的规则》序

胡先笙的科普音频节目是我最爱听的节目之一。每次发现胡先笙更新，我都会迫不及待地在第一时间收听。但大多数时候，听完节目，我总是会留下一些难以言说的“痒痒”，因为听音频与看文字相比，有一些天生的缺陷。例如，一行数学公式，或者一个图形，如果只能靠嘴念出来，听众理解起来就有一定困难。而胡先笙的节目中就经常会提到数学公式和图形，每次听到这类节目，我就会想，要是胡先生的所有节目结集成一本书那该多好。在夏日的夜晚，我洗好澡，吹着空调，舒舒服服地躺在床上，拿起这本书，细细地品味物理和数学带给我的愉悦。为了满足自己的这点私念，我用略带“恐吓”的语气对北京时代华文书局资深图书策划人高磊老师说：“高老师，我建议你赶紧去抢胡先笙的书稿。我用咱们10年的合作感情做担保，这是一本难得的好书，一定要快，忘掉你们出版社的那些繁文缛节吧，先把合同签了再看书稿。”高老师是中国好策划、好伯乐，她没有让我失望，以最快的速度抢到了胡先笙的书稿，并且以最快的速度上了流水线。

在我看来，看“科普书”原因有这么几条：1. 获取准确的科学知识指导自己具体的行为；2. 满足人类与生俱来的好奇心；3. 激发自己学习科学的兴趣；4. 重塑自己的三观；5. 提高自己在社交中的表现能力。

当然，原因可以分为5条，但并不是说一个人的需求就只是其中的一种，在大多数情况下，每个人的需求都是这5条的叠加态，只不过各自的侧重点有所不同。

我想，最能满足第一条需求的作者当属科学家型的科普作者，例如霍金

博士和我国的李森教授。但对于其他4条需求，像胡先笙这样的科普作者，就具备很大的优势。因为，胡先笙是数学学士、物理学硕士、历史学博士，胡先笙也是我认识的人当中少有的学贯中西、博古通今的知识分子。我不喜欢恭维一个人，但对胡先笙我是真心这么觉得。而且，胡先笙还有一种可能是与生俱来的幽默感，这对于科普创作来说，太重要了。

实际上，这本书中的大多数知识点我都已经很熟悉了，但我依然爱看。为什么呢？《万物简史》的作者比尔·布莱森很好地替我回答了这个问题，他对科普写作的价值有一段非常精辟的论述：

“贝特有一次问自己的物理学家朋友杰拉德：‘你为什么要坚持写日记呢？’杰拉德说：‘我并不打算出版，我只是记录下一些事实给上帝参考。’贝特又问：‘难道上帝不知道这些事实吗？’杰拉德回答说：‘上帝当然知道，但他不知道我这样描写的事实。’”

科普的魅力之一就在于表现方式。同样是讲数学中的混沌理论，大概你们也只能在胡先笙的这本书中看到用历史典故来解释蝴蝶效应。假如本书的第一章早一点让美国科幻三巨头之一的阿西莫夫看到的话，他再下笔创造“心理史学”这门虚构的学科时，一定能写得更加具备理论高度，让科幻迷们看得更过瘾。

读者评价一本科普好书时，常常会用“深入浅出”来表达。而胡先笙的文章特点就是纵深极大，这种深入的能力绝不是一个普通的科普作者能达到的。本书的第六章“引力波与相对论”最能体现胡先笙深入浅出的功力。我也写过一本讲相对论的科普书《时间的形状》。因此，我深知要像胡先笙这样把引力波的概念解释得如此深入，又如此浅出，必须具备极其过硬的物理知识和数学知识以及过人的表达能力。同时具备这两项条件的人，实在不多。

我喜欢听胡先笙的节目，看胡先笙的书，但这并不代表我认同胡先笙表达出的每一个观点。我想，任何人都不应该丢掉自己独立思考的能力。举个例子来说，胡先笙有着深厚的东方哲学功底，他能从现代科学理论中寻找到东方哲学之所以伟大的佐证，他写道：刚才说的Li-York定理，庞加莱定理，Ruelle-Takens定理，非专业人士自然不太懂。但会有一个感觉，混沌

与“三”有关、与无穷有关系。老子曰：道生一，一生二，二生三，三生万物。为什么是三生万物，而不是四生万物？以上各种定理告诉我们，“三”中已经蕴含一切和无穷，蕴含了混沌，也就是蕴含了宇宙万物。

胡先笙似乎告诉我们，老子的哲学已经预示了“三”蕴含着混沌。而我个人的观点则是，这仅仅是一个巧合而已。再比如，胡先笙是一个决定论者，而我则是一个随机论者。

不过，虽然有一些观念上的不同，但这完全不影响我阅读本书的快乐。恭喜你从茫茫书海中翻开了本书，这是你、我和胡先笙共同的幸运。

汪诒

2019.1

前言

年轻的时候，我从来没想到成为一名科普作家，但常常想把自己刚学到的知识分享出去，无论是科学的、哲学的，还是历史的。尤其读了理论物理专业的研究生后，自感接触到一片新奇的世界，总想把大自然的神奇说给旁人听，有时甚至不顾及对方的感受。

研究生毕业后，我在西北工业大学当了三四年老师，给大学生讲授热力学、统计物理、量子力学等课程，算是过了一把分享科学知识的瘾。随后又投身社会，进而出国移民，去感受国内外社会生活的各种精彩，自然科学渐渐淡出了我的视野，我更多地去观察社会、感悟人生，开始对人文学科发生了浓厚兴趣。回国后，一面在新东方讲授TOEFL、GRE、GMAT，同时去攻读历史学博士。

读博士期间，我大量接触了各种人文知识，这令我非常兴奋，我急于想把这些新知识分享出去。恰在此时，自媒体PAGE SEVEN的创始人容千出现了，邀请我在他们电台做节目，我欣然应允。有了这样的播客平台，我就可以更广泛地分享知识、传播思想。由此，我以“PAGE SEVEN胡先笙”的名号在喜马拉雅、网易云音乐、podcast等平台不断地输出节目、分享知识。

最初，我的想法是主要讲历史，但当年受到科学的熏染太深，再加上听众的不断诱导，栏目最终转变为以科学类为主、人文类为辅的格局。做节目很辛苦，毕竟多年没有接触物理，一点一点捡起来不容易，但内心想要分享知识的愿望，不断驱动着我。尤其是众多听友不断鼓励，也令我欲罢不能。记得有天早晨起来，听到LIGO（激光干涉引力波观测站）发现引力波的重

大新闻，我相当激动；打开微博一看，就更加激动了，因为很多听众都留言，要我一定要讲讲引力波，其中一位写道：“听到引力波的消息，我首先想到的不是爱因斯坦，而是胡先笙。”那一刻，我觉得有一种使命感，要让大家真正了解引力波。

不知从何时起，著名科普作家汪诘也成了“PAGE SEVEN 胡先笙”的热心听众，进而我们在微信中一起探讨科学、分享节目制作的经验，虽未曾谋面，但对科学的热爱、对科普的热衷将两个陌生人联系在一起。正是汪老师的建议，我才决意将节目结集成书，又经汪老师牵线搭桥，资深图书策划人高磊老师不断敦促和精心策划，《宇宙的规则》终于问世。

全书由七大篇章组成，从题目上看，这七章似乎是各自独立，但实际上一脉相承，一环扣一环，从一个重要的侧面展现了经典物理学到近代物理学的伟大历程，并着重挖掘了当今热点物理学问题，从物理学、数学、哲学、科学史等视角向读者展示了一个奇幻莫测的宇宙规则。

本书开篇《蝴蝶效应》，先以蝴蝶效应切入话题，渐次引入了混沌、分数维、自相似等有趣的物理概念；最后，还以明亡清兴为例，展现了在吴三桂、清军、李自成三方力量所形成的混沌系统中，一只翩翩小蝴蝶最终如何改变了历史的走向。文中还埋下了一个伏笔：蝴蝶效应对传统决定论的冲击。

第二篇《科言幻语聊〈三体〉》，虽然是借科幻小说《三体》来展开，实际上是对混沌理论的进一步探讨。首先展示了笔者阅读这本小说时的心路历程；然后又以物理专业人士的角度，对小说涉及的物理概念，尤其是三体问题进行了展开性分析，为大家呈现了一个比科幻更科幻的真实“三体”世界。另外，笔者还借着《三体》一书中所涉及的十一维空间，向读者介绍了超弦理论、超膜理论以及黑洞，并涉及了平行宇宙。这就为随后两章做好了铺垫。

因为混沌仍然是一个伪随机现象，所以蝴蝶效应只是冲击了决定论，并没有摧毁决定论，那么宇宙的规则到底是决定论的还是随机论的，第三章《宇宙的规则：决定论与随机论》对此进行了层层展开：从决定论的产生及兴盛，再到混沌冲击决定论，最终到量子力学（哥本哈根学派）对决定论的

否定。这一章为本书的点睛之篇，也是最令读者深思的一章。

因为爱因斯坦坚信决定论，也因为量子力学与相对论有着根本性的抵触，所以爱因斯坦坚决反对哥本哈根学派对世界的解读，他与玻尔为此进行了多次论战，每次都以爱因斯坦的失败而告终，而且迄今为止的所有实验结果都不利于爱因斯坦的观念。

但引力波的出现再次验证了广义相对论，本书也顺势转向了对爱因斯坦理论的探究。因为第一次探测到的引力波是双黑洞合并，所以先安排了第四章《黑洞与平行宇宙》，将黑洞传奇般的形成及奇葩般的属性一览无余地呈现给读者。其中提到黑洞就是从爱因斯坦的引力场方程中所导出，这为其后讲解引力波埋下了伏笔，因为引力波也是从这个方程中所求得。

为了令读者更好地理解相对论、理解引力波，书中又专门安排了第五章《牛顿时空观和引力观的兴衰》，专门讲解了经典的时空观，同时指出牛顿虽然发现了万有引力，但并没有了解引力的本质，没有告诉我们引力到底是什么。由此为引出相对论做好了铺垫。

第六章《引力波与相对论》是全书的压轴之作，以八节的篇幅来告诉读者，如何真正理解引力波。文中系统而又通俗地展示了爱因斯坦从建立狭义相对论再到广义相对论的光辉历程，其中有思想的呈现、物理的展示、数学的解读，最终引出了爱因斯坦方程（引力场方程），进而从方程中求出一个解——是由正弦和余弦函数所构成，意味着这个解就是曲率波，也就是所谓的引力波，就是传说中的爱因斯坦预言了引力波。

新闻中反复说，LIGO、Virgo（“室女座”引力波天文台）探测到引力波，意味着广义相对论实验验证中最后一块缺失的“拼图”被填补了。这给人一种错觉，仿佛广义相对论已经是至善至美的终极真理。为消除这种错觉，本书最后一章《欠“挠”的广义相对论》专门指出广义相对论的欠缺：它只考虑了曲率，没有考虑挠率，只想着物质的质量会令时空弯曲，但没想到基本粒子的自旋还会令时空扭曲，这必然会令广义相对论是一个不完备的理论。其实，爱因斯坦方程只是某种特殊情况下成立的方程，只是某个更普遍方程的蜕化。就如同牛顿万有引力定律是弱场蜕化下的爱因斯坦方程一般。

总之，科学没有止境，科学是在质疑和否定中不断前进的，这就是全书所要展现的理性精神和科学风貌。

物理知识，尤其是近代物理，极其艰深，但笔者能将之转化为通俗易懂、引人入胜的语言，正是因为大道至简的宇宙规则、脑洞大开的自然规律。虽然是科普读物，本书却没有回避主要数学公式、核心物理方程，但读者不必完全理解这些数学符号，只要从中看出了气质、体会到了精神，就更能激发我们对神秘“宇宙规则”的向往，驱使我们去探究：宇宙的未来到底是早已注定的，还是随机发生不可预测的。

胡先笙

2019.6

宇宙 的 规则

目录 / CONTENTS

第一章 蝴蝶效应

- 第一节 咖啡与混沌 —— 002
- 第二节 奇怪吸引子 —— 007
- 第三节 明亡清兴分叉 —— 014
- 第四节 迭代改变历史 —— 020

第二章 科言幻语聊《三体》

- 第一节 赏析《三体》小说 —— 028
- 第二节 科学版的“三体” —— 037
- 第三节 深挖三体问题 —— 044

第三章 宇宙的规则： 决定论or随机论

- 第一节 决定论遭遇挑战 —— 056
- 第二节 随机论的兴起：量子力学 —— 061
- 第三节 决定论与随机论的较量 —— 069

第四章 黑洞与平行宇宙

- 第一节 饕餮猛兽 —— 078
- 第二节 时空耦合 —— 086
- 第三节 黑洞的终结：霍金辐射与白洞喷发 —— 099
- 第四节 万物皆弦 —— 105

第五章 牛顿时空观和引力观的 兴衰

第五节 膜出宇宙 —— 113

第六节 众妙之门 —— 121

第一节 经典时空观及其挑战 —— 127

第二节 经典引力观：惯性质量与引力质量 —— 138

第三节 牛顿理论遇到瓶颈 —— 144

第六章 引力波与相对论

第一节 引力子乎 —— 148

第二节 光混时空 —— 155

第三节 脱欧入闰 —— 165

第四节 由狭入广 —— 178

第五节 爱上黎曼 —— 189

第六节 曲率张量 —— 198

第七节 方程出波 —— 208

第八节 最后一块拼图 —— 219

第七章 欠“挠”的广义相对论

第一节 黄金的诞生：中子星合并 —— 226

第二节 广义相对论的替代理论 —— 235

Chapter
one

第一章
蝴蝶效应

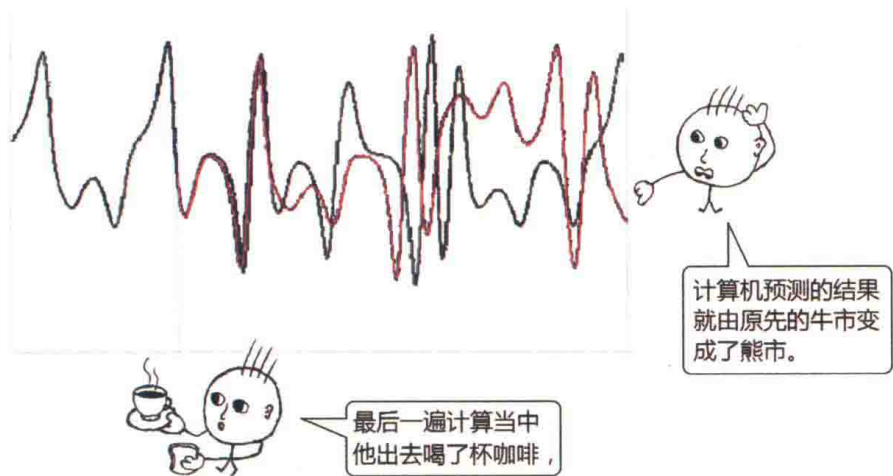


第一节 咖啡与混沌

“蝴蝶效应”大家应该相当熟悉，意思是说，巴西的一只蝴蝶振翅，会使美国德克萨斯州刮起一场龙卷风。但这到底是真是假，是信口雌黄还是确有科学依据，还需深究一番。提出这个概念的是美国人爱德华·洛伦兹，此人乃美国麻省理工学院气象学教授，致力于研究设计一种能够预测未来长期天气预报的数学模型。就是他提出了蝴蝶效应的概念，他是在哗众取宠吗？还是真的观察过很多巴西的蝴蝶，研究过美国的飓风，从而发现两者之间有着如此强烈的关联？其实，洛伦兹是个标题党，把一件很严肃很乏味的事情，表达得非常煽情。蝴蝶效应（Butterfly Effect），多么浪漫，多么魔幻，给人留下了无限想象空间，以至于这个词汇已经进入到我们的日常生活之中，我们动辄可以听到“蝴蝶效应”这个词。这到底有无科学依据呢？它和我们平时说的混沌现象又有什么关系呢？这正是本章需要向大家解释的。让我们从洛伦兹开始说起。

1959年的一天，他刚刚整出了一个简单的数学模型——三维微分方程组，准备借助计算机运用所谓数值迭代的算法，来推算两个月后的天气状况。当时的设备比较差，每推进一天要耗时一分钟，两个月就需要一个小时。算完一遍后，洛伦兹不放心，因为那时晶体管计算机容易出错，于是就再算一遍。当算到三十分钟时，也就是一个月时，他的咖啡瘾发作了，于是他终止了计算，但让计算机把中间结果打印了出来。等他买回咖啡后，将打印结果作为初始值输入计算机，令之继续计算，这样就避免了从头计算的麻烦。当洛伦兹很惬意地品着咖啡，欣赏着计算机不断输出的数

据时，他的眼睛渐渐瞪大了，瞳孔也散开了。原来复算显示的第二个月的数据与第一次的计算出现了差距，而且差距越来越大，最终结果与第一次截然不同。



1-1 洛伦兹两次实验数据对比，数据初值差距仅为0.000127

同样的计算机用同样的方法计算同一模型，为什么两次结果迥然不同，难道是计算机坏了？洛伦兹最终发现，问题出在这里：第一次是连续计算的，而第二次中间喝了一次咖啡。这不是在开玩笑，洛伦兹买回咖啡后再输入的数值是中间的打印结果，小数点后面只有三位，而计算机内存中保留了小数点后六位。也就是说，从这一刻起，两次计算的起点值有差异了，尽管相差不到千分之一，但正是这个微小的差异导致结果天翻地覆的变化，形象点儿说，巴西的一个蝴蝶是否震动翅膀，决定了美国德克萨斯州是否发生飓风。太形象了，形象得以至于很多人都误解了蝴蝶效应的真正意思。若严谨一点儿表述，就是：系统对初始值的依赖极度敏感。

既然如此，这就意味着天气预报永远不可能对未来长期的天气给出准确预测，无论你这个数学模型有多么完善，采集的原始数据有多么精确，计算机有多么强大！由于系统对初始值太敏感，只要有微不足道的初始差异，最

终结果就是颠覆性的。

洛伦兹最大的贡献还在于给这个现象起了一个煽情的名字——蝴蝶效应，这个形象的说法为其学说的传播奠定了基础。其实早在1885年庞加莱研究三体问题时，就发现了这个效应。所谓三体问题就是三个天体在万有引力的作用下，知道它们的初始位置，来计算它们在未来任一时刻的位置。庞加莱作为科学家可比洛伦兹厉害，但他不是标题党，所以没有引起科学家和公众的注意。

一、蝴蝶效应对传统决定论的冲击

讲到这里，有读者肯定要嘀咕，蝴蝶效应有什么，不就是我们的老话“失之毫厘，差之千里”吗？苏东坡有诗云：“竹中一滴曹溪水，涨起西江十八滩。”这不过是一个很寻常的现象，为何会对当时的西方科学界产生巨大震动，甚至有人说它终结了经典物理学呢？

因为当时有一个传统观念：“小的输入误差导致小的输出误差。”这样说有些专业，这样问大家吧，有人相信宿命论吗？从理论上讲，科学能够算命吗？我想很多人都会认为宿命论是迷信，那不科学。其实宿命论是相当科学的，尤其是特别符合经典物理学。在科学的语言中，宿命论又称为决定论，世间未来的一切都是决定好了的，不必庸人自扰、杞人忧天。当然你努力、你奋斗，那也是决定好了的，就像有些人游手好闲、无所事事，也是事先决定好了的。经典物理学真的是这样认为吗？大家在初中都学过牛顿第二定律， $F=ma$ ，说明在质量已知、外力确定，加上初始位置和初始速度的给定条件下，运动物体在任何时刻的空间位置都可被牛顿第二定律所支配的微分方程初值问题的解说唯一确定。牛顿理论的这个结果也非常符合我们的常识，凡事必有因，有因必有果。世界上没有无缘无故的爱，也没有无缘无故的恨，当你觉得一件事情纯属偶然的时候，其实是因为你不清楚其中的内在原因。

事实上，我们用经典物理理论成功地预测了日食、月食，因为我们通过建立数学模型，可以算出太阳、地球、月球在未来任一时刻的准确位

置。这难道不就是响当当的决定论，或者说宿命论吗？那科学家为什么不能用经典物理学来给人预测呢？因为决定人生命运的因素太多、太复杂，科学家还没有能力建立这样一个庞大的微分方程组，也无法完整采集这些因素的准确初始值。

于是法国的拉普拉斯就说了：假如我们通晓了整个自然的法则，就能建立起一个无所不包的宇宙方程式，如果知道宇宙在某一瞬间初始状态的完全而精致的知识（如所有粒子的位置、质量、速度和方向等），就足以推断它在未来任何瞬间的情况。换句话说，科学在理论上是可以算命的。这是拉普拉斯的信念，也代表着传统物理学家的信念。但蝴蝶效应的出现打破了这一信念。

蝴蝶效应告诉我们，即使你建立起了这样的宇宙方程，即便对某一瞬间的初态有着非常精确的数据，但由于极其微小的误差，都会导致完全不同的结果，这就使得科学算命在理论上无法实现，而且无法趋近。比如预报天气时，怎么可能把每一个蝴蝶是否振动翅膀这一微小的信息也采集进去呢？但蝴蝶是否振动翅膀，就会对结果产生颠覆性的影响。



1-2 拉普拉斯（1745~1827）

是不是随便一个系统或数学模型都可以出现蝴蝶效应呢？如果是，这个