

本书英文版： 亚马逊网站五星级评论  
美国国家图书奖得主推荐阅读  
2009年Templeton奖获得者高度评价  
深受欢迎的科学博客感言： 阅读它是一种享受

爱因斯坦错了！

上帝真的

掷骰子

高山 著

清华大学出版社

爱因斯坦错了！



# 上帝真的掷骰子

高山 著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

人们一直认为宇宙间的万物都在连续地运动，但连续运动只是真实运动的影子。本书从关于运动的简单问题出发，经过芝诺的箭、牛顿的惯性、爱因斯坦的光，还有薛定谔的猫，等等，引领你沿着一条逻辑的、可理解的道路走入奇妙的量子世界。在那里，无论是原子还是小球，或者巨大的星体，都在一刻不停地以一种随机的、非连续的方式跳跃，用一句著名的隐喻来表达就是：上帝真的掷骰子。这个新发现或许将最终揭开深邃的量子之谜，并引发我们世界观的一次深远变革。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

上帝真的掷骰子 / 高山著. —北京:清华大学出版社, 2009.12  
ISBN 978-7-302-21163-1

I. 上… II. 高… III. 量子-普及读物 IV. O413-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 177940 号

责任编辑: 宋成斌

责任校对: 刘玉霞

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 148×210 印 张: 3.875 插 页: 3 字 数: 82 千字

版 次: 2009 年 12 月第 1 版 印 次: 2009 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 19.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号: 031960-01

我想知道上帝的思想，其余的都是细枝末节。

——爱因斯坦

## 致 谢

本书的内容源于我多年思索所获得的点滴发现。在此过程中，我得益于与其他物理学家的讨论而使自己的思想愈加清晰和严谨，他们是：Samuel Braunstein (University of York)，曹则贤 (中国科学院物理学研究所)，Bernard d'Espagnat (University of Paris)，Alwyn van der Merwe (University of Denver)，Philip Pearle (Hamilton College)，Roger Penrose (University of Cambridge)，Abner Shimony (Boston University)，Antoine Suarez (Center for Quantum Philosophy, Zurich)。在此对这些研究者的帮助深表感谢。

同时，我要感谢我的父母高庆峰先生和赵丽华女士对我的悉心抚育和谆谆教诲，并感谢我的妻子刘慧霞女士在本书完成过程中对我无微不至的关心和支持。

还要谢谢我可爱的小女儿睿琦。她总是充满好奇，常常问一些关于自然界的天真问题。这些问题让我不断反思人们关于宇宙的常识图像。她正是童年的我！

最后，对清华大学出版社编辑宋成斌先生的支持和帮助表示诚挚的谢意。

---

当他接触到阳光时他的眼睛将失去视觉，他将无法看到任何我们现在称为实在的东西……，他需要逐渐习惯上面世界的景象。他最好先看影子，然后是人和其他物体在水中的倒影，再后是物体本身；之后他能注视月亮、星星和闪亮的天空……；最后他将能看见太阳。

——柏拉图，《理想国》

---

## 序

我们生活在经典世界中。然而，在它下面却是一个幽灵般的原子世界。每个人都知道物质由原子组成，但是没有人知道原子什么样，它们如何运动。

原子根本不像小球，例如，单个原子可以同时通过两条缝，而小球却不行。更为惊人的是，我们实际上也不知道小球如何运动。

它们看起来是连续运动的，但这只是一个假象！即使最伟大的科学家牛顿和爱因斯坦也为这一假象所迷惑。

那么，原子和小球究竟是怎样运动的呢？

本书将揭示自然的一个最深邃的奥秘，那就是：宇宙中的每个物体，无论它是原子还是小球，甚或巨大的星体，都在不停地以一种随机的非连续的方式跳跃。用一句著名的隐喻来表达就是：上帝真的掷骰子。

尽管这一奇异的宇宙图像令人难以置信，它却是真实的。发现运动不是连续的而是非连续和随机的，正如发现地球在运动而非绝对静止一样，将引发我们世界观的一次深远的变革。现在，我们终于可以走出柏拉图的洞穴，瞥见真实世界的阳光。自然原来如此奇妙！

发现之旅同样充满惊奇。童年时代，那缀满夜空的繁星为何不落对我来说一直是个谜。我有一种强烈的渴望，想知道为什么。后来我在课本里找到了答案，它改变了我心中的宇宙图

像。大学时代，我为原子世界的神秘所深深吸引。下述事实尤其令我困惑，即原子的行星图像被证明是完全错误的；原子中的电子不可能像地球绕太阳公转一样围绕原子核旋转，否则它将在瞬间辐射掉能量而掉入核中，而由原子组成的我的身体也将在刹那间瓦解。那么，电子究竟是怎样运动的呢？它一定存在于原子之中，它一定在那里以某种方式运动。但更令我困惑的是：教科书里竟没有给出电子的运动图像！在1987年8月22日的日记中我写道：“难道我们没有办法把原子过程当作直接在时间、空间中进行的过程来描述!？”那一年我16岁。我不得不自己去寻找答案，从此便踏上了“追踪”原子幽灵的探险之旅。那旅程是孤独的，但却充溢着发现的快乐。

为了探究电子如何在原子中运动，我来到中国科学院电子学研究所继续我的研究生学习。然而，那里也没有人能给我一些提示。我几乎每天都在思索电子那难以捉摸的运动图像。如果小球的确连续地运动，那么电子和原子看来也应当以相同的方式运动。毕竟小球是由原子组成的。但是，如果电子在原子中连续地运动，它将很快落入核中，而这一“悲剧”并未发生。这是一个进退维谷的难题。我找到一些可能的解决办法，但很快就证明是不可行的。

这个运动之谜一直困扰着我，折磨着我。日复一日，我渐渐开始怀疑连续运动的真实性，但我始终坚信微观粒子一定以某种方式在运动。终于在1993年10月12日的清晨，我经历了一次顿悟。在那一刻，我感到自己的身体伸展遍布至整个空间，和宇宙成为一个整体。“我”消失了，一幅清晰的图像显现出来：一个粒子在随机地、非连续地跳跃。它不是惰性的而



是活跃的；粒子完全是自主地运动。上帝告诉我它在原子世界中掷骰子。我最终在灵感的帮助下摆脱了连续运动思想的最牢固的桎梏，从而窥见了运动的真实图像。事后看来，这一结果在逻辑上非常自然。由于粒子（如电子）无法连续地运动，它只能非连续地运动。连续运动唯一性的偏见是多么根深蒂固啊！

如果原子以非连续的方式运动，那么它们可以轻易地同时通过两条缝。但是，为什么小球似乎以相反的方式运动呢？还有，究竟为什么上帝要掷骰子呢？我又为这些新的谜团所困扰。然而，没有研究所或大学愿意支持对这些“古怪”问题感兴趣的研究者。于是，我决定做一名独立的研究科学家，或者更确切地说，一个以理解宇宙为终极目标的自然哲学家。生活之路的确艰辛，但我从未放弃我的研究，从未停止对宇宙之谜的思考。它们已经成为我生活的主题。好奇心继而转变为责任感；我一定要理解上帝的思想，我一定让所有人都看见真理之光。

随着时间的推移，非连续运动的图像在我的头脑中变得愈加清晰。当我在 2001 年 6 月的一个午后散步时，灵感的火花再次照亮我孤独的探索之路。我突然意识到运动实际上没有原因，因此它一定是本质上随机的，即上帝必然掷骰子。例如，小球的常见的惯性运动事实上已经显示它也在随机地、非连续地跳跃，正如原子一样。这是一个重要的新发现。也许通往真理的道路总是迂回曲折的，而这正是为了让惊奇隐藏在转弯处等待坚定的探索者。原来，上帝也在经典世界中掷骰子。它实际上和整个宇宙都在玩骰子。一幅多么和谐的世界图景啊！

我只是想知道一个天真问题的答案，我只是不停地思考。但那探究完全改变了我的生活。它决定了我的生活方式，并最终将我引向作为终极实在的上帝。正如 Trinity 在电影《黑客帝国》中所说，“正是问题将你引向这里……，答案就在那，尼奥，它在寻找你，如果你想让它这么做它将会找到你。”

真理是简单的。但如果用平常的语言来解释，它将变得有点儿复杂，以至于需要写一本小书。没有方程，没有专业术语。这里只有一幅清晰而令人惊奇的宇宙图像，它是每个人都可以理解的。尤其是，阅读本书不需要任何量子物理的知识。事实上，它将引领你沿着一条逻辑道路从熟悉的经典世界步入到不可思议的原子世界。最后，你将对谜一般的量子有更直观、更深入的理解，甚至会超过它的发现者们。最终的真理将是简单的、易理解的。

生命是短暂的。每个人都不过是宇宙中的一粒微尘。然而，上帝给了我们精神，我们因此可以知道并理解它的思想。最大的幸福莫过于此。正如伟大的圣人孔子所言，“朝闻道，夕死可也。”我衷心希望这本小书不仅让你对这个神秘的世界有更多了解，而且也会为你的人生增添色彩。

高 山

2009年10月

## 引 子

1924年4月29日，爱因斯坦在给好友玻恩的信中说，“我决不愿意被迫放弃严格的因果性……，我完全不能容忍这样的想法，即认为电子受到辐射后，不仅它的跳跃时刻，而且它的方向，都由它自己的自由意志去选择。在那种情况下，我宁愿做一个补鞋匠，或者甚至做一个赌场里的雇员，而不愿意做一个物理学家。”两年后，他在给玻恩的信中再次强调，“我无论如何深信上帝不掷骰子。”那么，电子的运动真的是随机的吗？上帝究竟掷不掷骰子呢？你的未来会被完全决定吗？为了回答这些深奥而迷人的问题，我们不必去研究那捉摸不定的电子，而只需考察一只古老的箭。





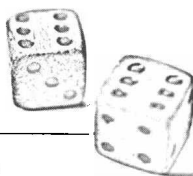
ontents

目录 .....

引子 .....	13
<b>1 箭之谜 .....</b>	<b>1</b>
飞矢不动 .....	1
运动只是幻象吗 .....	3
时间之沙 .....	8
运动的“不动”图像 .....	11
<b>2 眼见为实吗 .....</b>	<b>14</b>
连续运动质疑 .....	14
神秘的双缝 .....	18
现代科学如是说 .....	21
<b>3 溯本求源 .....</b>	<b>26</b>
力产生运动吗 .....	26
运动没有原因 .....	31
<b>4 上帝掷骰子 .....</b>	<b>34</b>
逻辑之路 .....	34
两个证据 .....	38
数学观点 .....	45
两位先知 .....	48

<b>5 时分宇宙</b>	52
粒子是一朵云	53
粒子云涟漪	59
两种构造	62
$\Psi$ 波及其演化	67
不可分的宇宙	71
<b>6 赌博规则</b>	80
随机性去了哪里	81
在分立时空中掷骰子	83
上帝的赌博规则	87
两个世界的统一	91
<b>7 原动者</b>	97
因果性与机遇	97
上帝为何掷骰子	100
无为的上帝	101
<b>作者简介</b>	105
<b>本书英文版评论</b>	107

# I



## 箭之谜

光阴似箭。

——古谚

运动是人类永恒的探究主题。这种探究始于一支古老而著名的箭，它的拥有者是生活在 2500 多年前的古希腊哲学家芝诺。

### ◆ 飞矢不动

芝诺是第一个认真思索运动谜题的人。他设想了很多关于运动的悖论，其中最有名的是箭悖论。出人意料的是，利用一只普通的箭，他竟然证明了运动不过是一种幻象。但是，芝诺是对的吗？

设想一支飞行的箭。在每一时刻，它位于空间中的一个特定位置。由于时刻无持续时间，箭在每个时刻都没有时间运动而只能是静止的。鉴于整个运动期间只包含时刻，而每个时刻又只有静止的箭，所以，芝诺断定，飞行的箭总是静止的，它不可能在运动；箭的运动只是一种幻象。

上述结论也适用于时刻有持续时间的情况。对于这种情况，时刻将是时间的最小单元。假设箭在这样一个时刻中



埃利亚的芝诺

据说芝诺曾写过一本书，其中包含 40 多个悖论，都是用反证法去证明他的老师巴门尼德的学说：存在是一而不是多。可惜的是，这本书久已失传。柏拉图在《巴门尼德》篇中曾引述芝诺的话说：“出于对我老师的热爱，我在青年时就完成此书，但有人将它偷走，所以对这本书是否应当面世我别无选择。”今天，我们关于芝诺悖论的了解主要源于亚里士多德的《物理学》，其中引述了芝诺的四个运动悖论：二分法、阿基里斯、飞矢不动和运动场。



运动了，那么它将在这个时刻的开始和结束位于空间的不同位置。这说明时刻具有一个起点和一个终点，从而至少包含两部分。但这明显与时刻是时间的最小单元这一前提相矛盾。因此，即使时刻有持续时间，飞行的箭也不可能在运动。总之，飞矢不动。



这支箭出了什么问题？

“不可能，这绝对不可能，飞矢一定在运动！”你可能禁不住争辩道。但是，芝诺的论证究竟有什么问题呢？不要怕哲学家，无论如何，只有两个可能的答案：一个是芝诺是对的，运动的确是一种幻象；另一个是芝诺的论证有问题。让我们先看看第一种可能性。

## ◆ 运动只是幻象吗

尼奥，你做过一个你确信是真实的梦吗？如果你不能从那梦中醒来会怎样？你如何能知道这个梦的世界与真实世界之间的区别？

——摩尔甫斯，《黑客帝国》

作为有梦的生物，我们在相信感觉之前最好先怀疑它。尽管我们明显感觉到运动的存在，但是它真的存在吗？在确信运动的实在性之前，我们也需要先审视一下我们关于它的感觉。

如果芝诺是对的，那么在时间中存在的一切都将是静止的。