

宇宙系列

**Cycles of  
Time:**  
An Extraordinary  
New View of the  
Universe

# 宇宙的轮回

[英]罗杰·彭罗斯 / 著 李泳 / 译

宇宙起源的最新理论——共形循环宇宙学的必读经典



第一推动

CTS | K 湖南科学技术出版社

宇宙系列

**Cycles of  
Time:**  
An Extraordinary  
New View of the  
Universe

# 宇宙的轮回

[英]罗杰·彭罗斯 / 著 李泳 / 译



第一推动

湖南科学技术出版社

## 图书在版编目 ( C I P ) 数据

宇宙的轮回 / [英]罗杰·彭罗斯著 ; 李泳译. — 长沙 : 湖南科学技术出版社, 2014. 1

(第一推动丛书. 宇宙系列)

ISBN 978-7-5357-7843-7

I. ①宇… II. ①罗… ②李… III. ①宇宙—普及读物 IV. ①P159-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 219161 号

*Cycles of Time*

Copyright © Roger Penrose 2010

湖南科学技术出版社通过大苹果股份有限公司获得本书简体中文

版中国大陆出版发行权

著作权合同登记号: 18-2010-330

本书根据 The Bodley Head 2010 年版本译出。

第一推动丛书 宇宙系列

### 宇宙的轮回

著 者: [英]罗杰·彭罗斯

译 者: 李 泳

责任编辑: 吴 炜 戴 涛

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-84375808

印 刷: 长沙超峰印刷有限公司

(印装质量问题请直接与原厂联系)

厂 址: 宁乡县金洲新区泉洲北路 100 号

邮 编: 410600

出版日期: 2014 年 1 月第 1 版第 1 次

开 本: 880mm×1230mm 1/32

印 张: 10

字 数: 210000

书 号: ISBN 978-7-5357-7843-7

定 价: 28.00 元

(版权所有·翻印必究)

## 总 序

科学，特别是自然科学，最重要的目标之一，就是追寻科学本身的原动力，或曰追寻其第一推动。同时，科学的这种追求精神本身，又成为社会发展和人类进步的一种最基本的推动。

科学总是寻求发现和了解客观世界的新现象，研究和掌握新规律，总是在不懈地追求真理。科学是认真的、严谨的、实事求是的，同时，科学又是创造的。科学的最基本态度之一就是疑问，科学的最基本精神之一就是批判。

的确，科学活动，特别是自然科学活动，比较起其他的人类活动来，其最基本特征就是不断进步。哪怕在其他方面倒退的时候，科学却总是进步着，即使是缓慢而艰难地进步，这表明，自然科学活动中包含着人类的最进步因素。

正是在这个意义上，科学堪称为人类进步的“第一推动”。

科学教育，特别是自然科学的教育，是提高人们素质的重要因素，是现代教育的一个核心。科学教育不仅使人获得生活和作所需的知识和技能，更重要的是使人获得科学思想、科学精神、科学态度以及科学方法的熏陶和培养，使人获得非生物本能



的智慧，获得非与生俱来的灵魂。可以这样说，没有科学的“教育”，只是培养信仰，而不是教育。没有受过科学教育的人，只能称为受过训练，而非受过教育。

正是在这个意义上，科学堪称为使人进化为现代人的“第一推动”。

近百年来，无数仁人智士意识到，强国富民再造中国离不开科学技术，他们为摆脱愚昧与无知做了艰苦卓绝的奋斗。中国的科学先贤们代代相传，不遗余力地为中国的进步献身于科学启蒙运动，以图完成国人的强国梦。然而应该说，这个目标远未达到。今日的中国需要新的科学启蒙，需要现代科学教育。只有全社会的人具备较高的科学素质，以科学的精神和思想、科学的态度和方法作为探讨和解决各类问题的共同基础和出发点，社会才能更好地向前发展和进步。因此，中国的进步离不开科学，是毋庸置疑的。

正是这个意义上，似乎可以说，科学已被公认是中国进步所必不可少的推动。

然而，这并不意味着，科学的精神也同样地被公认和接受。虽然，科学已渗透到社会的各个领域和层面，科学的价值和地位也更高了，但是毋庸讳言，在一定的范围内，或某些特定时候，人们只是承认“科学是有用的”，只停留在对科学所带来的后果的接受和承认，而不是对科学的原动力、科学的精神的接受和承认。此种现象的存在也是不能忽视的。

科学的精神之一，是它自身就是自身的“第一推动”。也就是说，科学活动在原则上是不隶属于服务于神学的，不隶属于服务于儒学的，科学活动在原则上也不隶属于服务于任何哲学。科学是超越宗教差别的，超越民族差别的，超越党派差别的，超越

文化的地域的差别的，科学是普适的、独立的，它自身就是自身的主宰。

湖南科学技术出版社精选了一批关于科学思想和科学精神的世界名著，请有关学者译成中文出版，其目的就是为了传播科学的精神，科学的思想，特别是自然科学的精神和思想，从而起到倡导科学精神，推动科技发展，对全民进行新的科学启蒙和科学教育的作用，为中国的进步做一点推动。丛书定名为《第一推动》，当然并非说其中每一册都是第一推动，但是可以肯定，蕴含在每一册中的科学的内容、观点、思想和精神，都会使你或多或少地更接近第一推动，或多或少地发现，自身如何成为自身的主宰。

《第一推动丛书》编委会

## 前 言

我们宇宙的最大秘密就是它从哪儿来。

1950年代初，我进剑桥大学读数学研究生，那时正好兴起一个迷人的宇宙学理论，即稳恒态模型。根据那个纲领，宇宙没有开始，而且总的说来一直保持着大致相同的状态。稳恒态宇宙之所以能在膨胀中保持不变，是因为在膨胀中持续损耗的物质被持续新生的物质（极端弥散的氢原子气团）补偿了。我在剑桥的导师和朋友是宇宙学家席艾玛（Dennis Sciama），我从他那儿体验了新物理学的兴奋。他当时是稳恒态宇宙学的强烈支持者，让我深切感受了那个杰出纲领的美妙和力量。

然而，那个理论没能经受时间的检验。大约在我第一次进剑桥并且熟悉那个理论10年之后，彭齐亚斯（Arno Penzias）和威尔逊（Robert Wilson）惊奇地发现了一个来自所有方向、遍及整个天空的电磁辐射，也就是现在说的宇宙微波背景（或CMB）。很快，迪克（Robert Dicke）就将它解读为人们预言的宇宙起源的大爆炸“闪光”的痕迹，那大约发生在140亿年前——第一个严



格构想大爆炸的是勒梅特 (Monsignor George Lemaître), 他在 1927 年基于他对爱因斯坦 1915 年广义相对论方程的研究和宇宙膨胀的早期观测证据提出的。后来, CMB 越来越好地确立起来了, 席艾玛以巨大的勇气和科学的诚实, 否定了他早先的观点, 从此转而强烈支持宇宙起源的大爆炸思想。

从那时以来, 宇宙学已经从推测和猜想变成了一门精确的科学, 大量的优美实验产生了高度精确的 CMB 数据, 对它的周密分析成为这个转变的重要组成部分。然而, 还有很多未解之谜, 猜想仍将在我们的追求中占据一定的位置。我在本书中描述的, 不仅是经典相对论宇宙学的主要模型, 还有它们的不同发展和这些年来出现的疑难问题。尤其值得注意的是, 在热力学第二定律和大爆炸本性的背后藏着深层的奥秘, 我为此提出了自己的一套猜想, 它把我们所知的宇宙的诸多方面的不同问题都拉扯到一起来了。

我的非正统方法要追溯到 2005 年, 不过很多细节是更近期才有的。我的解说深入到一些几何, 但在正文里我并没过分摆弄方程或其他技术, 它们都放在附录里了。只有专家需要参阅那个部分。我这儿提出的纲领其实是非正统的, 不过它有着非常坚实的几何和物理的基础。尽管我的建议与旧时的稳恒态模型完全不同, 但它分明回荡着它的音响!

我不知道席艾玛老师会做什么?



## 致 谢

我非常感谢众多的朋友和同事的重要意见和建议，感谢他们让我分享他们的思想，融入我在这儿提出的宇宙学纲领。最重要的是，与 Paul Tod 详细讨论了他建立的 Weyl 曲率假设的共形形式，这对我有着决定性的影响。大家可以看到，他的分析的很多方面对我的共形循环宇宙学方程的具体建立起着至关重要的作用。另外，Helmut Friedrich 对共形无限远的强有力分析，特别是他对正宇宙学常数情形的研究，为我的纲领的数学可能提供了强大的支持。多年来，Wolfgang Rindler 也贡献了他的重要思想，特别是他对宇宙学视界的独创性理解，还有他与我在 2-旋量形式的长期合作以及我们就暴胀宇宙学的作用展开的讨论。

重要的启发还来自 Florence Tsou (周尚真) 和 Hong-Mo Chan (陈匡武)，他们让我明白了粒子物理学中质量的本性，还有 James Bjorken 也提供了重要见解。对我产生过影响的人还有 David Spergel, Amir Hajian, James Peebles, Mike Eastwood, Ed Spiegel, Abhay Ashtekar, Neil Turok, Pedro Ferreira, Vahe Gurzadyan, Lee Smolin, Paul Steinhardt, Andrew Hodges, Lionel Mason 和 Ted



Newman。Richard Lawrence 卓越的编辑支持也难能可贵，还有 Thomas Lawrence 付出的辛勤劳动，他补充了很多遗漏的东西（特别是第一部分）。也感谢 Paul Nash 为我编制索引。

我还要深深感谢我的妻子 Vanessa，感谢她在困难环境下对我的深爱、支持和理解，也感谢她在很短时间内为我提供需要的图件，特别是她指导我应付了不断出现的现代电子技术的困扰，如果没有她的帮助，我对那些图就一筹莫展了。最后，也要谢谢我们 10 岁的小儿子 Max，不仅是他的勇气和快乐，他还以自己的方式帮我克服了技术难题。

感谢荷兰 M. C. Escher 公司允许我复制图 2.3 中的绘画，感谢海德堡大学理论物理研究所允许我引用图 2.6。最后，感谢国家自然科学基金会的资助（PHY00-90091）。

## 引子

大雨滂沱，小河溅起水沫，溅到汤姆的脸上，他眯缝着眼睛，看急湍的溪流从山间落下。“哇，它总是这样的吗？”他问普利西拉阿姨。阿姨是剑桥大学的天体物理教授，特意带他来看那个神奇的老水磨，那么古老，还能完美地运转。“难怪，那么老的机器还转那么快呢！”

“我看它不会老是那么有力的，”身边的阿姨说。她站在河边的栏杆后面，提高嗓音，压倒了水的喧嚣。“今天的水势比平常大多了，因为雨多。你看那下面，好多水都从水磨流出来了。平常可不那样，水要平缓得多，水磨得好好利用它们。可现在呢，水的能量大了，超过了水磨的需要。”

汤姆对着狂野湍急的水盯了好一会儿，看到空中飞溅的朵朵水花和片片水雾，神往极了。“我能看见水里有好多能量，我知道几百年前人们就明白怎么用能量来驱动机器了——做很多人合力才能做的事情，织精美的毛衣。可是，原先从哪儿来那么多能量，才把水弄到山上去的呢？”

“太阳的热量让海水蒸发到空中，然后以雨水的形式降下来。”



所以，相当多的雨水会落到山上。”阿姨告诉他，“让水磨转动的，就是来自太阳的能量。”

汤姆有点儿疑惑。他经常对阿姨说的东西感到疑惑，而且老是喜欢怀疑。他看不出热量怎么就能把水升到空中。如果说周围全是热量，他怎么还感觉冷呢？“昨天是很热，”他勉强承认，“可那会儿和现在一样，我也没觉得太阳要把我弄上天啊。”

阿姨笑了。“不，不是那样的。太阳的热量是把能量给了海水的小分子。然后，那些分子四处乱跑，比平常快得多。有些‘热’分子跑得更快，能突破水面，跑到空中去。虽然跑出去的分子比例很小，可海洋那么大，所以总的说来还是有大量分子进入空气。那些分子形成云，然后通过降雨回到地面，有很多就落到山上。”

汤姆还是有点儿迷糊，不过雨总算小点儿了。“可是，我没觉得雨是热的呀。”

“是这样的，太阳的热量先转化为水分子的随机运动的能量，然后，动能使一小部分分子跑得很快，变成蒸汽进入空中。这些分子的能量变成所谓的引力势能。想想看，我们把一个球抛到空中，你使劲儿越大，球抛得越高。到达最高点时，球不再向上，它在那一点的动能全都转化成了相对于地面的引力势能。水分子<sup>2</sup>的情形也是一样的。它们的动能——从太阳热量得到的——转化成在山顶的引力势能，然后，当水从山上冲下来时，又重新变成动能，驱动水磨。”

“所以那儿的水一点儿也不热？”汤姆问。

“是的，孩子。当水分子到达高空时，它们会慢下来，还会冻成冰晶——云主要就是这些冰晶组成的——所以能量变成了相对于地面的势能，而不是热运动的动能。于是，那儿的雨一点儿

不热，下落时会被空气阻力减慢，落到地下时还很冷呢。”

“真有趣！”

“是啊，”阿姨看小孩有了兴趣，于是趁热打铁，补充说，“要知道，即使河里的冷水，每个分子也以很高的速度四处乱跑，它们包含的热量比从山上冲下来的湍急涡流还多呢！”

“天啊，是这样的，好像有点儿明白了。”

汤姆想了一会儿，起初有点儿疑惑，然后就被阿姨的话吸引了，兴奋地说：“我有了一个好主意！为什么不造一种特殊的水磨，直接利用平常湖水里的水分子动能呢？它可以用很多小小的风车，就像顶端有个小碗儿的风向标，不管风朝哪个方向吹，它都能转起来的。只是它在水里必须很小很小，水分子的速度才能使它转动，这样我们就可以用它转化水分子的动能来驱动各种机器了。”

“奇妙的想法，好孩子！遗憾的是，它行不通。那是因为有个物理学的基本原理，叫热力学第二定律，大概意思是，随着时间的流逝，事情会变得越来越混乱无序。就我们这一点说，它告诉<sup>3</sup>我们你不可能从热或者冷物体的随机运动获取有用的能量，就像你刚才说的那样。你的想法，我看有点儿像‘麦克斯韦小妖’。”

“你都没开始做！每当我有一个好想法，爷爷总叫我‘小妖’，我不喜欢。第二定律那东西，算不得好定律。”汤姆生气了，抱怨说。然后，他的怀疑天性又回来了：“我不知道是不是真敢相信它。”他接着说，“我想，那样的定律需要更清楚的思想来解释。不管怎么说，我想你说过，是太阳的热量加热了海水，是那些随机的动能使它到达山顶，也正是它转动水磨的。”

“你说的对。所以第二定律告诉我们，光凭太阳的热量还不



行。为了能够运行，我们还需要较冷的高层大气，这样，水蒸气才能在山的上空凝结。其实啊，从整体说来，地球并没从太阳得到一分能量。”

汤姆一脸惊讶地看着阿姨。“跟冷大气有什么关系呢？‘冷’可不就是比‘热’的能量少吗？一点儿能量有什么用呢？我不明白你说的话。不管怎么说，我看你有点儿自相矛盾。”汤姆越发自信了，“你先告诉我太阳能量转动水磨，现在又说太阳压根儿没给地球能量！”

“是啊，真的。假如太阳给了地球能量，地球就会变得越来越热。地球白天从太阳得到的能量，到晚上都还给天空了，因为夜空是黑的——我想，大概只有一点儿回到地球，让全球变暖。这是因为，太阳是黑暗天空里的一个炽热的亮点……”

汤姆越听越迷糊，不知阿姨说什么，开始走神了。又听阿姨说，“……所以呀，正因为太阳能量有那么明显的组织性，我们才觉得第二定律处在困境中。”

汤姆一脸茫然地看着阿姨，说，“我想我没听懂你说的，我也不明白为什么要相信‘第二定律’的东西。不管怎么说，太阳的组织从哪儿来呢？你的第二定律本该告诉我们太阳会越变越混乱，所以它刚形成时一定是高度组织的，因为它一直在失去它的组织。你的‘第二定律’说它的组织在不断丢失。”

“这是因为太阳是黑暗天空里的一个热点，温度的极端悬殊生成了我们的组织。”

汤姆盯着阿姨，有点儿明白了，但还是不大相信她说的话。“你说那就是组织，好吧，可我不明白为什么那样。退一步说，就算假定是那样的——可你还是没告诉我那种可笑的组织到底是从哪儿来的。”

“来自形成太阳的气体呀，那些气体原先是均匀分布的，然后引力使它聚集成团，凝结成星体。很久很久以前，太阳就是这样形成的；它从原先分散的气体收缩而来，在收缩的过程中变得越来越热。”

“你老往过去说，说得滔滔不绝，可你说的‘组织’，不管它是什么，最初是从哪儿来的呢？”

“最初来自大爆炸，整个宇宙都是从这个剧烈的大爆炸开始的。”

“爆炸那玩意儿可不像什么有组织的东西，我还是不懂。”

“很多人都不懂！你只是其中的一个。没人真的懂。组织从哪儿来，大爆炸凭什么代表组织，都是宇宙学的大难题。”

“也许在大爆炸之前还有更具组织性的东西？组织也许从那儿来？”

“真有人那么想过。有理论说，我们现在膨胀的宇宙以前有个坍缩的时期，然后‘反弹’成我们的大爆炸。也有理论说，前期宇宙的一小部分坍缩成我们所说的黑洞，然后它们‘反弹’，变成大量新膨胀宇宙的种子。还有理论说，新宇宙是从‘伪真空’里生出来的……”

“我看那简直是疯了。”汤姆说。

“是啊，不过，我最近还听说有一个理论……”

6

# 目 录

引 子 .....	1
<b>1 神秘的第二定律 .....</b>	<b>1</b>
1.1 漫漫随机路 .....	3
1.2 熵，状态的数目 .....	8
1.3 相空间和玻尔兹曼的熵 .....	16
1.4 熵概念的刚性 .....	25
1.5 挡不住的熵增 .....	32
1.6 过去为什么不同? .....	37
第一章注释 .....	43
<b>2 奇异的大爆炸 .....</b>	<b>45</b>
2.1 我们膨胀的宇宙 .....	47
2.2 无所不在的微波背景 .....	55
2.3 时空，零锥，度规，共形几何 .....	66





2.4	黑洞与时空奇点 .....	82
2.5	共形图与共形边界 .....	92
2.6	大爆炸怎么特殊了? .....	107
	第二章注释 .....	119
3	共形循环宇宙学 .....	127
3.1	连接无限 .....	129
3.2	CCC 的结构 .....	139
3.3	早期的前大爆炸理论 .....	153
3.4	第二定律的再生 .....	162
3.5	CCC 与量子引力 .....	176
3.6	观测的意义 .....	190
	第三章注释 .....	204
	附 录 .....	214
	附录 A 共形标度, 2-旋量, 麦克斯韦和爱因斯坦理论 .....	214
	A1. 2-旋量记号: 麦克斯韦方程 .....	215
	A2. 无质量自由场 (薛定谔) 方程 .....	216
	A3. 时空曲率量 .....	216
	A4. 无质量引力源 .....	217
	A5. 毕安基恒等式 .....	218
	A6. 共形标度 .....	219