

EINSTEIN'S
COSMOS

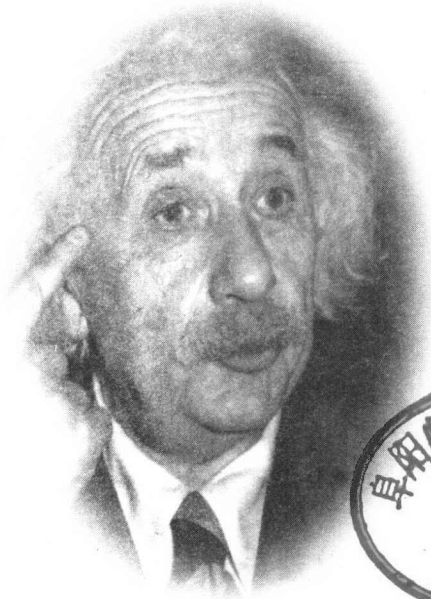
爱因斯坦的
宇宙

EINSTEIN'S COSMOS
大发现系列丛书
Great Discoveries

爱因斯坦的 宇宙

[Einstein's Cosmos]
[美] 加来道雄 著 徐 彬 译

湖南科学技术出版社



EINSTEIN'S COSMOS

大发现系列丛书
Great Discoveries

爱因斯坦的

[Einstein's Cosmos]

[美] 加来道雄 著 徐彬译

湖南科学技术出版社

宇宙

图书在版编目 (CIP) 数据

爱因斯坦的宇宙 / (美) 加来道雄著; 徐彬译. —长沙: 湖南科学技术出版社, 2006. 6

(大发现系列丛书)

ISBN 7-5357-4613-6

I. 爱... II. ①加... ②徐... III. 相对论 - 普及读物 IV. 0412.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 062334 号

Einstein's Cosmos

Copyright © 2004 by Michio Kaku

湖南科学技术出版社通过博达著作权代理有限公司独家获得本书简体中文版中国大陆地区出版发行权。

著作权合同登记号: 18-2005-056

大发现系列丛书

爱因斯坦的宇宙

著者: [美] 加来道雄

译者: 徐彬

责任编辑: 吴炜 贾平静

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 0731-4375808

印刷: 长沙市宏发印刷厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂址: 长沙市银盆北路银太纺织厂内双鱼大楼

邮编: 410013

出版日期: 2006 年 6 月第 1 版第 1 次

开本: 850mm × 1168mm 1/32

印张: 6.75

字数: 145000

书号: ISBN 7-5357-4613-6/N·146

定价: 18.80 元

(版权所有·翻印必究)

前

言 重新审视爱因斯坦的遗产

天才。心不在焉的教授。相对论之父。蚀刻在我们心目中的阿尔伯特·爱因斯坦的形象，总是一头爆炸的头发，不穿袜子，上身是特大号的毛衣，嘴里叼个烟斗，对周围世界好像并不注意。传记作家丹尼斯·布莱恩曾这样描述他：“与埃尔维斯·普雷斯利和玛丽莲·梦露齐名的流行偶像。他那神秘莫测的形象经常出现在明信片、杂志封面、T恤衫和比真人还要大的招贴画上。好莱坞有个经纪人专门经营他的形象图片，供电视广告使用。他要是见了这些可能都会生气。”^[1]

爱因斯坦是有史以来最伟大的科学家之一，其贡献堪与艾萨克·牛顿比肩。因此，《时代》周刊选他作世纪人物毫不奇怪。许多历史学家将他列入过去的千年里一百位最有影响力的人物之一。

考虑到爱因斯坦在历史上的地位，有多个原因值得我们重新审视他的一生。首先，他的理论极为深刻，其在几十年前作出的预言至今仍占据着报纸头条的位置，因此我们极有必要尝试去理解这些理论的本源。随着新一代仪器的出现（其中包括卫星、激光、纳米技术、超级计算机、引力波探测器等），这些在1920年都是不可想象的，人们可以探索宇宙外围以及原子内部，爱因斯坦当年的预言不断为科学家赢得诺贝尔奖。即便是爱因斯坦餐桌上的面包渣都会为科学开辟新的前景。例如，1993年的诺贝尔奖就授予了两位证实引力

波存在的物理学家。而引力波是爱因斯坦在1916年分析双中子星运动时所预言的。2001年的诺贝尔物理学奖则由三位物理学家共享，他们证实了玻色-爱因斯坦凝聚的存在。这种物质在接近绝对零度时的新的状态是爱因斯坦在1924年预见到的。

他的其他预言现在也正被一一证实。黑洞曾被看作爱因斯坦的理论所推出的一个奇怪的东西，而现在哈勃太空望远镜和甚大阵射电望远镜都已找到了黑洞。爱因斯坦环和爱因斯坦透镜现在不仅已经被发现，而且业已成为天文学家观测外太空不可见对象的关键工具。

即使是爱因斯坦的“错误”现在都被认为是对宇宙认识的意义深远的贡献。2001年，天文学家找到了令人信服的证据，证明“宇宙常数”这个一度被看作爱因斯坦最大的失误，实际上包含宇宙中最大的能量，而且它将决定宇宙最终的命运。因此，从实验的角度来看，随着越来越多的证明累积起来，验证了他当年的预言，对于爱因斯坦的遗产的认识问题，出现了“复兴”。第二，物理学家正重新评价爱因斯坦的遗产，尤其是他的思维过程的价值。近年来，为他作传的传记作家不厌其详地研究了私人生活，以寻求其理论的本源。但是物理学家却越来越清醒地认识到，爱因斯坦的理论与其说是建立在神秘的数学之上，（更不要说他的爱情生活了！）倒不如说更多的是建立在简单而优雅的物理图景之上。爱因斯坦经常评论说，某个新的理论，若不是建立在连儿童都能理解的物理图景之上，那么它极有可能毫无价值。

因此，本书就以这些图景，即爱因斯坦的科学想像力所带来的成果为主线，并围绕这些图景描述其思维的过程和最伟大的成就。

第一部叙述的是爱因斯坦第一次在16岁时所想到的图

景：如果追随一束光运动，光会是什么样子。另外，这幅图景很可能是受到他小时候读的儿童书籍的启发产生的。通过想象和光束赛跑可能发生的情形，爱因斯坦将当时最伟大的两个理论——即牛顿力学和麦克斯韦的理论——的矛盾之处找了出来。通过思考解决这一对矛盾，他知道这两者之中必有一方是错误的。事实证明牛顿学说出了问题。从某种意义上说，整个狭义相对论（这一理论后来揭示了恒星和核能的奥秘）就蕴含在这一图景中。

在第二部，我们领略的是另一幅图景：爱因斯坦想象，行星就像是玻璃弹球，沿着以太阳为中心的弯曲的平面滚动。引力是时空弯曲造成的。通过将牛顿所说的万有引力替换成平滑表面的曲率，爱因斯坦使我们对引力有了全新的、革命性的认识。在这一新的思维框架中，牛顿所说的“万有引力”其实是空间弯曲所造成的假象。这一简单的图景所带来的结果，包括黑洞、大爆炸以及宇宙最终的命运。

第三部没有相应的图景。这一部分其实叙述的是爱因斯坦在探索统一场论中，由于缺乏图景的指引所遭受的挫折。假如有了这样的图景，爱因斯坦也许能够找到正确的路，摘取人类 2000 年来在探寻物质和能量的法则中的最高荣誉。到了这个阶段，爱因斯坦的直觉帮不上多少忙了，因为当时对于原子核和亚原子粒子的力，人们几乎一无所知。

未完成的统一场论，和他生命中最后 30 年对“万物至理”的探索绝不是一个失败——虽然这一点只是最近才为世人所认识。当年他的同时代人把这看作愚蠢的行为。比如，物理学家兼爱因斯坦的传记作家亚伯拉罕·派斯就抱怨说：“在他生命的后 30 年中，他一直勤于研究。但是假如他放下工作，钓鱼去也，其声名，即使不会比现在更高，至少也不会丝毫受损。”^[2]换言之，如果他在 1925 年就离开物理学，而

不是 1955 年，他所留下的遗产可能更伟大。

不过，最近 10 年来，随着“超弦理论”、“M 理论”的提出，物理学家开始重新评价爱因斯坦后期的研究工作及其遗产。全世界物理学的研究中心，又回到了统一场论之上。万物至理的研究，成了新一代有抱负的科学家的最高目标。曾几何时，统一场论被视作老迈的物理学家学术生涯的坟墓，现在，它已然是理论物理学压倒一切的主题。

我希望通过本书提供一个关于爱因斯坦的开创性工作的全新的视角。从简单的物理学图景出发审视他的恒久遗产，有可能会得到更为精确的图像。他的远见卓识为当前在外太空和高级物理实验室里正在进行的变革性的实验提供了养分，同时也在促使当代人加紧研究，实现他生前痴痴追寻的梦想：万物至理。我觉得，从这一角度来解读他的生活和工作，应该是他最喜欢的。

致 谢

在此，我要感谢普林斯顿大学图书馆的同仁的热情支持，为写作本书所作的一部分研究即是在那里完成的。该图书馆收藏有爱因斯坦所有的手稿和原始材料。另外要感谢纽约城市大学的V·P·内尔和丹尼尔·格林博格教授。他们通读了书稿，并提出了有益而中肯的建议。此外，与弗莱德·杰罗姆的谈话也对本书成形颇有助益。此君握有卷帙浩繁的爱因斯坦的FBI档案。埃德温·巴博对鄙人鼎力支持，亦多鼓励，在此一并致谢。耶西·科恩编辑本书时多有增益，使书稿增色不少。多年来，我的科学书籍一直由斯图亚特·克里切夫斯基代理；深情厚谊，十足感念。



目 录

前言 重新审视爱因斯坦的遗产	(1)
致谢	(1)
第一部 第一幅图景 与光速赛跑	(1)
第1章 爱因斯坦之前的物理学	(3)
第2章 爱因斯坦的早年生活	(12)
第3章 相对论和“奇迹年”	(33)
第二部 第二幅图景 弯曲的时空	(57)
第4章 广义相对论和“一生中最幸福的思考”	(59)
第5章 新哥白尼的诞生	(75)
第6章 大爆炸和黑洞	(89)
第三部 未完成的图景 统一场论	(101)
第7章 统一场论和量子的挑战	(103)
第8章 战争、和平以及 $E=mc^2$	(127)
第9章 爱因斯坦预言性的遗产	(147)
注释	(173)
参考书目	(193)
译后记	(198)

第一部

第一幅图景 与光速赛跑

第 1 章

爱因斯坦之前的物理学

一位记者曾经问过阿尔伯特·爱因斯坦这位自艾萨克·牛顿之后最伟大的科学天才，请他说一下自己的成功公式。这位伟大的思想者想了一下，回答道：“假设 A 是成功，那么成功的公式就是 $A = X + Y + Z$ ，其中 X 是工作， Y 是游乐。”

记者问：那 Z 代表什么呢？

“少说话，”爱因斯坦答道。^[1]

物理学家、王公贵族以及公众，觉得爱因斯坦最令人亲近之处是不论他在为世界和平呐喊还是在探索宇宙奥秘的时候，所表现出来的博爱、无私和睿智。

连孩童都喜欢凑到一起，去看普林斯顿大街上的这位物理学泰斗，而他则会摇动一下耳朵，算是对他们的好奇心的回报。爱因斯坦尤其喜欢和一个五岁的小男孩交谈。这个小男孩喜欢陪他一路走到普林斯顿研究所。一天，他们散步的时候爱因斯坦突然放声大笑。小男孩的妈妈问他跟爱因斯坦都说了些什么，小孩回答说：“我问爱因斯坦今天去厕所了吗。”孩子的妈妈很惶恐，但是爱因斯坦回答说：“有人问了我一个我能答得上来的问题，我很高兴。”

物理学家杰里米·伯恩斯坦（Jeremy Bernstein）曾说：“任何亲自和爱因斯坦接触过的人都会被他的崇高品格所打动。人们反复说他是多么多么的善良、博爱……这些都是他的人格里让我们亲近的地方。”^[2]

不论是对乞丐、孩童，还是王室贵族，爱因斯坦都一样

的慷慨与和善，而且对科学殿堂里的前辈，他也十分谦恭。科学家，和其他的富有创造力的个人一样，有可能非常嫉妒同行的才能，从而生发出许多鸡毛蒜皮的公案。但爱因斯坦从不讳忌谈论自己的思想是源自哪位物理学先贤，这其中包括艾萨克·牛顿、詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）等。他把他们的肖像摆在自己书桌和墙上的显著位置。牛顿力学和麦克斯韦的电磁学构成了 19 和 20 世纪之交科学的两大支柱。最令人瞩目的是，几乎所有的物理学知识，都蕴含在了这两大成就之中。

人们很容易忽略这一事实，即在牛顿之前，对于地球以及空间的物体为何会动，一直无人能解释。许多人相信人类的命运是精灵和魔鬼控制的。魔法、巫术、迷信等在欧洲最有学问的地方都是热门话题。我们现在心目中的这种科学那时尚不存在。

尤其是，在希腊哲学家和基督教神学家的作品里，他们将物体的运动归结为它们具有和人类一样的欲望和情感。亚里士多德的信徒则认为，运动物体之所以会停下来，是因为它们会“累”。他们还写道，物体之所以会掉到地面，是因为它们“渴望”和地面会合到一起。

而将秩序引进了这个神灵控制的混沌世界的人，从某种意义上说，和爱因斯坦的性格脾性是截然相反的。爱因斯坦从不吝惜时间，面对媒体记者也总是妙语连珠。牛顿则不同，他非常不合群，而且有偏执狂的倾向。他对别人总是充满怀疑，为了地位等问题总是和其他的科学家存有芥蒂。他的沉默寡言是出了名的。1689~1690 年期间，他是英国议会的议员。他唯一一次面对全体议员说话是有一次他手中的稿子掉到了地上，他请引座员把窗户关上。据传记作家理查德·韦斯特法（Richard S. Westfall）记述，牛顿是一个“苦闷的

人，特别的神经质，甚至到了崩溃的边缘，尤其是中年阶段。”^[3]

不过论及科学，牛顿和爱因斯坦都是真正的大师，他们之间有许多相似之处。两个人都能连续几个星期甚至几个月沉浸在深度的思索中，直到身体快吃不消。两个人都能将宇宙的奥秘以简单的图形的方式加以想象思考。

1666年，牛顿23岁，他彻底驱逐了困扰亚里士多德学派的精灵，引入了一整套力学机制。牛顿提出了力学三定律，指出物体之所以移动，是因为受到了力，而且这些力可以测量，并能以简单的公式表达出来。牛顿不再把物体的运动看作是它们的欲望驱使的，而是能够计算出每一种物体的运动轨迹，从落叶，到腾空飞起的火箭、炮弹以及云朵等，办法是将其受力计算清楚。这不仅是一个纯学术的问题。它奠定了工业革命的基础，蒸汽机牵引着巨大的火车头和轮船，创造了新的帝国。现在人们可以充满自信地建造桥梁、大坝、摩天大楼等，因为我们可以计算出每一块砖，每一根梁的受力。牛顿的力学理论取得了巨大的成功，他还在世时就已经成了名人，著名诗人亚历山大·蒲柏曾写下：

自然和自然律深藏于黑暗，
神说，让牛顿来吧！于是就有了光。

牛顿还将自己的力学理论应用到宇宙本身，提出了新的引力理论。他热衷于跟人讲述当年蔓延欧洲的黑死病迫使剑桥大学关闭，他回到了位于林肯郡的家中这段经历。一天，他在自家院子里看见苹果从树上掉落下来，就给自己提出了这个重大的问题：既然苹果会落下来，那么月亮会不会掉下来？作用于地球上的苹果的重力，会不会也在引领着天体的

运动？这可是异端的想法，因为宗教上认为天体就应该呆在自己的位置，它们遵循的是完美的神圣的定律，这种定律是和控制人类的原罪、救赎等是相对应的。

一闪念间，牛顿意识到他可以将地球上和太空中的物理学统一成一体。将苹果拉向地面的力，应该是和牵引月球，使其沿轨道运行的力是同样的力。他的一不留神撞在了对引力的新的认识上。他想象自己坐在山巅，向上扔石头。他意识到随着扔出的速度越来越快，石头就能越扔越远。然后，他作出了一个重大的跳跃：如果你扔得足够快，使石头永远落不下来会怎样？他意识到石头在引力的作用下，虽然不会落到地球上，但是会绕着地球运动，最终回到扔石头的人的位置，打在那人的后脑勺上。在他的想象中，他把石头换成了月球。月球也在不断向下落，但永远不会落到地球上，和石头一样，绕着地球做环行运动。月球不是像教会说的那样停留在天球上，而是在引力的作用下，像石头和苹果那样进行自由落体运动。这是对太阳系的运动的第一个解释。

20年后，即1682年，整个伦敦都被一颗耀眼的彗星搞得惴惴不安。牛顿用反射式望远镜（这也是他发明的）仔细观察了彗星的运动，发现其运动和自己的公式非常吻合，前提是只要它是在引力的作用下作自由落体运动。当时的一个业余天文学家埃德蒙·哈雷精确地预言该彗星（后来被命名为哈雷彗星）会回来，这是人类对于彗星的运行第一次作出预言。牛顿用来计算哈雷彗星和月球轨道的引力定律，和美国国家宇航局用来引导其空间探测飞船精确飞经天王星和海王星所使用的引力定律是一样的。

牛顿认为这些力是瞬间起作用的。比如，如果太阳突然之间消失了，牛顿认为地球会立即飞离自己的轨道，凝固在深邃的空间。整个宇宙中所有的人都会丝毫不差同时知道太

阳消失了。因此，我们就有可能调整位于宇宙任何位置的钟表，使这些表都同步。地球上的一秒钟和火星上或木星上的一秒钟是一样长的。和时间一样，空间也是绝对的。地球上的尺子和火星或木星上的尺子的长度是一样的。在宇宙的任何位置，尺子的长度都不会变化。因此，秒和米等概念，不论我们旅行到太空的任何位置，都是一样的。

这样一来，牛顿就将其物理概念建立在了绝对空间和绝对时间这一常识概念上。对牛顿来说，空间和时间构成了绝对的参考系，我们依据此来判断所有物体的移动。例如，我们坐火车旅行的时候，会认为火车是运动的，地球是静止的。然而，如果我们盯着车窗外闪过的树木，就会认为火车也许是静止的，是树木运动经过窗口。由于车厢内的一切都好像是静止的，我们就会问，到底是什么在运动？火车还是树？对牛顿来说，绝对参考系可以帮我们确定答案到底是什么。

牛顿的定律在几乎两个世纪的时间里一直是物理学的基石。结果，到了19世纪末，随着新的发明，如电报、电灯等给欧洲的大城市带来了变革，对于电的研究带来了一套崭新的科学概念。为了解释电流和磁性等神秘的力，1860年就职于剑桥大学的苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦，抛开了牛顿力学，以全新的“场”的概念，创立了电磁学理论。爱因斯坦写道：场概念“是物理学自牛顿以来最深刻的成果”。^[4]

把铁屑洒在纸上，我们就能看见这些场。把一块磁体放在纸下面，铁屑会神奇地重新排列，变成像蜘蛛网一样的图案，从磁体的南北极伸展出线段。因此，磁体的周围存在磁场，它是肉眼看不见的一条条的力，能够穿过任何空间。

电流也会创造场。在科技馆里，儿童在触摸到静电球的时候头发直竖，这会令他们欢欣不已。头发就显示了静电球

所发出的看不见的电场线。

不过，这些场和牛顿所说的力很不相同。牛顿认为力是瞬间作用于空间所有物体的，因此宇宙中某一地方出现扰动，整个宇宙会瞬间都感受到这一扰动。麦克斯韦的重大发现则表明磁场和电效应不像牛顿的力那样瞬间起作用的，而是需要时间来传播，而且传播速度恒定。他的传记作家马丁·戈德曼（Martin Goldman）写道：“磁力作用的时间这一想法……好像让麦克斯韦猛然意识到了什么。”^[5]例如，麦克斯韦指出，如果有人晃动磁铁，附近的铁屑需要一定的时间才能重新排列。

想象一下在风中颤动的蜘蛛网。蜘蛛网一部分受风出现扰动，会带来一阵涟漪，传播到整个蜘蛛网。和力不同，场和蜘蛛网允许扰动以恒定的速度传播。麦克斯韦接下来计算磁力效应和电效应的速度。这是19世纪科学最伟大的突破之一。他正是利用这个想法来解答光的奥秘。

麦克斯韦通过迈克尔·法拉第和其他人早期的工作得知，运动的磁场可以产生电场，反之亦然。我们周围的发电机和电动机就是这一辩证关系的直接结果。（这一原则被用来给我们的家庭提供照明。例如，在水坝上，水流冲击水轮机，水轮机使磁体旋转。运动的磁场推动线圈里的电子，由此产生的电流顺着高压线路传导到我们家里的墙壁插座里。与此相似，使用电动真空吸尘器的时候，电流从墙壁插座里流出来，产生了磁场，驱动吸尘器里的扇页旋转。）

天才麦克斯韦就是要把这两种效应合到一起。既然磁场运动可以产生电场，而且反之亦然，那么这两者也许可以形成循环运动，电场和磁场相互转换，相互驱动。麦克斯韦立即意识到这一循环模式会创造出一连串移动的电场和磁场，同时都一起活跃，各自都通过永不停止的波动变成另一种形