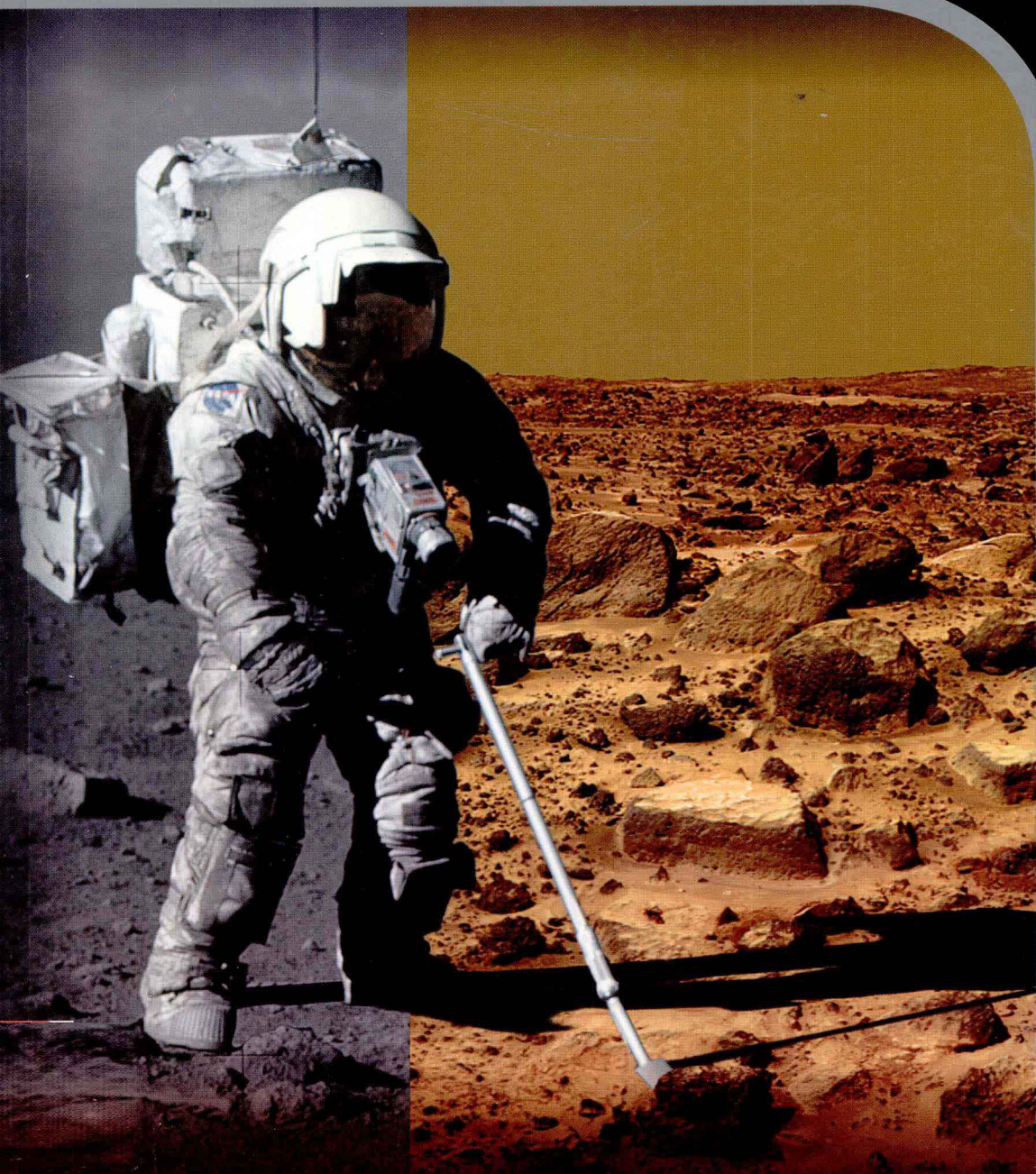


全球顶级科普杂志《科学美国人》精选

THE FIRST SCIENCE VIEW | 第一科学视野

★ 众多**诺贝尔奖**得主及世界**顶级**科学家倾力撰写

★ 荟萃从**爱迪生**到**比尔·盖茨**都喜欢阅读的大众**科普**文章



宇宙与天体

《环球科学》杂志社 编
飞思科普出版中心 监制



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

内容简介

人类自诞生之日起,就对浩瀚的宇宙充满了敬畏和好奇,在蒙昧无知的古老年代,人类把宇宙看成神灵,而今天,我们可以有遥望宇宙的千里眼,有直径达100米的射电望远镜,甚至可以驾驶着飞船遨游太空。但是,宇宙是如何诞生的?黑洞间歇泉是什么?地球会成为第二颗金星吗?到底有没有外星生命?……越是深入研究宇宙,越是发现有无穷的秘密待我们去揭开,而这本书就是科普爱好者揭开这些秘密的首选读物。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

宇宙与天体 / 《环球科学》杂志社编. — 北京:电子工业出版社, 2011.1
(第一科学视野)
ISBN 978-7-121-12348-1

I. ①宇… II. ①环… III. ①天文学—普及读物 IV. ①P1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第227539号

责任编辑:郭晶 李娇龙

文字编辑:吕姝琪

印刷:北京画中画印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开本:889×1194 1/16 印张:17.75 字数:624.8千字

印次:2011年1月第1次印刷

定价:65.00元

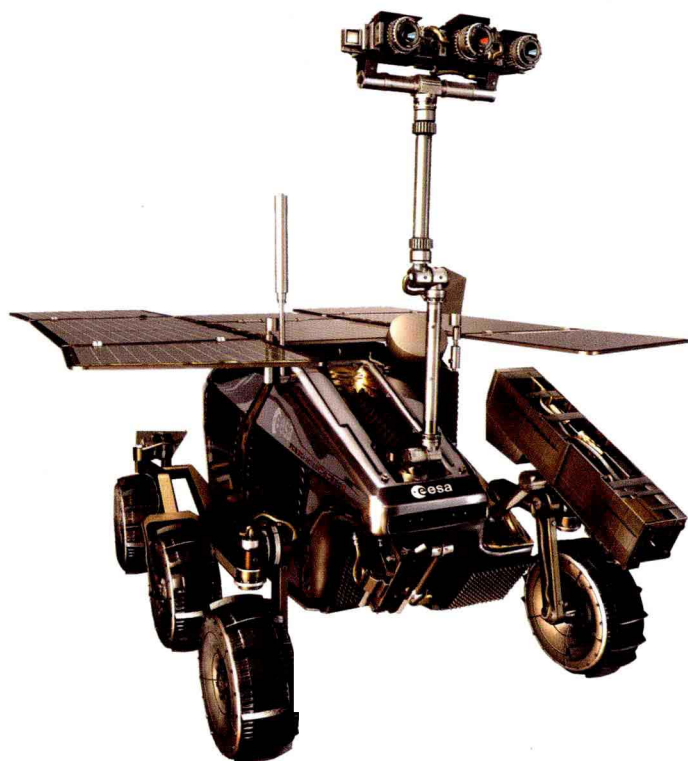
凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

第一科学视野

宇宙与天体



《第一科学视野》
丛 书 编 委 会

丛书主编

郭 涛 刘 芳

丛书编委 (按姓氏音序排列)

曹丽敏 陈宗周 褚 波 贺 佳
罗丽聪 罗 绮 申宁馨 虞 骏

THE FIRST
SCIENCE VIEW

第一科学视野

《环球科学》杂志社 编

飞思科普出版中心 监制



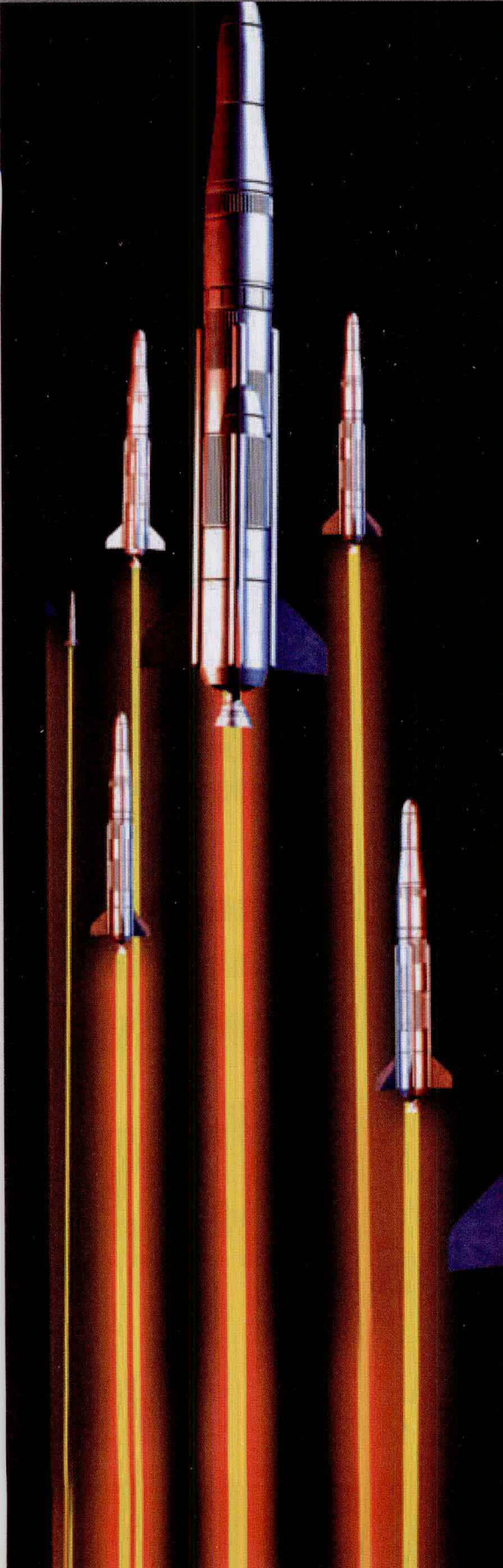
宇宙与天体

电子工业出版社

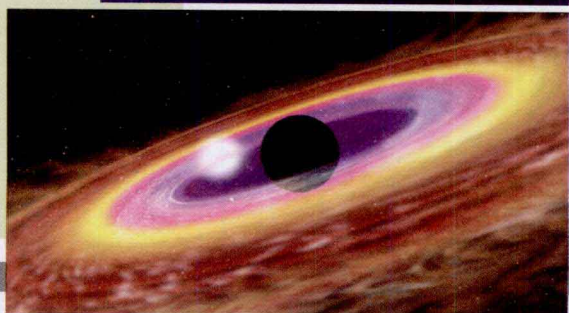
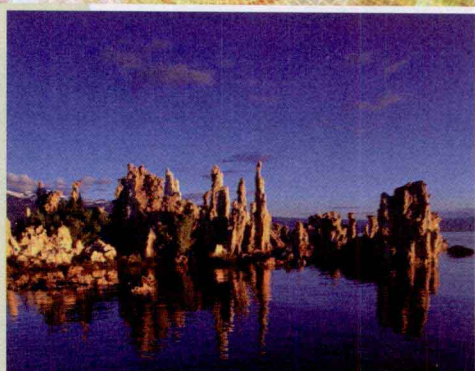
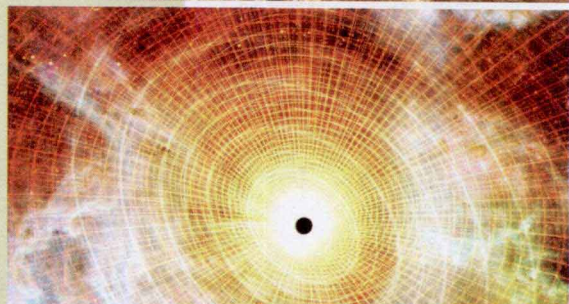
Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

目录 CONTENTS

- 
- 006 追查宇宙前世
 - 012 宇宙起源研究简史
 - 014 恒星的艰难诞生
 - 023 星系池塘中的涟漪
 - 030 给黑洞拍张大头照
 - 039 莫须有的黑洞
 - 046 科学在这里崩溃
 - 054 恒星坍缩奇点研究简史
 - 056 黑洞间歇泉
 - 064 暗能量真的存在吗
 - 072 地球宇宙地位研究简史
 - 074 银河系的星际战俘
 - 081 寻找太阳失散的兄弟姐妹
 - 088 迎战超级太阳风暴
 - 096 当太阳死去地球能否逃生?
 - 103 外星“地球”在何方
 - 104 太阳系外行星研究简史
 - 106 地球会成为第二颗金星吗
 - 114 去火星考察野外地质
 - 122 火星水世界
 - 130 湿润的火星有点“酸”
 - 131 重访水星
 - 131 先有黑洞还是先有星系
 - 132 到宇宙之外寻找生命
 - 140 人择原理简史
 - 142 去土卫二搜寻生命
 - 152 外星生命就在我们身边?

- 160 在中国沙漠寻找外星生命
- 161 外星人吃什么
- 162 天体生物学研究简史
- 164 搜寻通古斯天外来客
- 170 甲烷：火星与泰坦的生命证据？
- 180 理性追寻外星生命
- 181 泰坦探测简史
- 182 火星探测简史
- 184 时间箭头的宇宙起源
- 192 GLAST: 观察宇宙的新窗口
- 200 遥望宇宙的千里眼：巨型麦哲伦望远镜
- 202 直径 100 米：打造望远镜神话
- 210 光谱之王：LAMOST
- 214 电火箭畅游外太阳系
- 222 萤火一号：中国深空探测第一步
- 224 当粒子遇上宇宙……
- 232 宇宙射线 星际旅行终结者？
- 240 中国：嫦娥奔月
- 244 日本：“月亮女神”升空
- 248 美国：乘“猎户座”飞船去月球
- 255 太空时代的 5 大要务
- 262 载人太空探索必须振兴
- 263 中国探月简史
- 264 人类探月简史
- 267 太空武器和太空战争
- 274 太空武器发展简史
- 276 宇宙学的末日



追查宇宙前世

我们的宇宙或许并非始于一场大爆炸，而是源于一次大反弹——前一“世”宇宙在引力作用下向内坍缩，将所有物质与能量挤压到时空所能承受的极限，使引力转变为排斥力，从而触发了一场大反弹，让宇宙在膨胀中重获“新生”。这一切都是奇异量子引力效应的杰作。

撰文/马丁·博约沃尔德（Martin Bojowald）
翻译/虞骏

物质由原子构成，这一观念早已深入人心，以至于我们很难想象，当初“原子”这种东西看起来有多么惊世骇俗。一个多世纪以前，当科学家首次提出原子假说时，他们对观察如此细微的结构基本不抱什么希望，甚至质疑原子这一概念能否称为科学。不过，科学家逐渐找到了越来越多原子存在的证据。到了1905年，爱因斯坦用分子热运动解释了布朗运动（Brownian motion，悬浮于液体中的尘埃微粒所作的无规则运动），有关原子存在与否的争论才尘埃落



定。即便如此，物理学家还是花了20年时间，才发展出一套能够解释原子的理论（即量子力学）；又过了30年，物理学家埃尔温·米勒（Erwin Müller）才拍到了原子的首张显微照片。如今，整个现代工业都建立在原子物质的固有特性之上。

在理解时间与空间的基本构成方面，物理学家也走上了一条类似的道路，只是远远落在了后面。正如物质的属性表明它们由原子构成一样，时间和空间的属性也同样暗示它们拥有某种精细结构——要么由时空“原子”组装而成，要么由其他一些时空“丝线”交织而成。物质原子是化合物不可分割的最小单元；假想的空间原子也是距离不可分割的最小单元。科学家通常认为空间原子的大小约为 10^{-36} 米，远远超出现有最强大显微设备的能力范

围——它们最多只能探测小到 10^{-18} 米的精细结构。因此，许多科学家质疑时空原子这一概念能否称为科学。不过，一些研究人员并没有灰心丧气，他们提出了许多方法，有可能直接检测到这样的时空原子。

最有希望的方法涉及对宇宙的观测。假如逆着时间，把宇宙膨胀倒推回去，我们看到的星系似乎都将汇聚于一个极小的点，即大爆炸奇点。现有的引力理论——爱因斯坦广义相对论预言，在这一点上，宇宙的密度和温度都将无穷大。在一些科普文章里，这一刻被宣扬为宇宙的起点，代表了物质、空间和时间的诞生。然而，这种说法实在太过武断，因为密度和温度的无穷大意味着广义相对论本身已经失效。要解释大爆炸时究竟发生了什么，物理学家必须超越相对论，发展出量子引力理论，把相对论无法触及的时空精细结构也纳入考虑范畴。

在原初宇宙的致密环境中，时空的精细结构发挥过显著作用，这些痕迹或许可以留存至今，隐藏在如今宇宙中物质和辐射的分布模式之中。简而言之，如果时空原子存在，我们不会像当年发现物质原子那样，再花上几个世纪去寻找证据。如果运气好的话，在未来十年内，就可能有所斩获。

●●● 时空碎片

圈量子引力论预言时空由原子构成，在极小尺度上并不连续。这种结构会在大爆炸奇点等极端条件下发挥显著影响。

物理学家已经提出了量子引力的

若干候选理论，每个理论都用一种独特的方式，把量子原理套用到广义相对论中。我的研究工作专注于圈量子引力论（loop quantum gravity），这一理论是在20世纪90年代通过两步推导发展起来的：第一步，理论学家利用数学方法，将广义相对论方程改写为一种类似于经典电磁理论的形式，圈量子引力论中的“圈”就是新表达形式中电、磁力线的对应体；第二步，理论学家遵循一些开创性的处理步骤，大概类似于数学中的纽结理论，将量子原理套用到这些圈上。由此推导出来的量子引力理论预言了时空原子的存在。

其他理论，比如弦论和所谓的“因果动态三角剖分”（causal dynamical triangulations），本身并没有预言时空原子，但它们通过其他方式暗示，距离短到一定程度后或许会不可分割（参见《环球科学》2008年第8期《组装量子宇宙》一文）。这些候选理论间的差异已经引起争议，不过在我看来，与其说这些理论相互矛盾，不如说它们互为补充。弦论在统一粒子相互作用及弱引力方面非常有用，不过要弄清奇点处到底发生了什么，在这种引

宇宙反弹

- 爱因斯坦的广义相对论认为，宇宙起源于大爆炸奇点。在那一刻，所有物质都聚集在一点，密度无穷大。但是广义相对论并没有考虑时空本身的精细量子结构，这些结构给物质密度和引力强度设置了一个上限。要弄清大爆炸奇点到底发生了什么，物理学家不得不求助于量子引力学。
- 圈量子引力论是量子引力学的一个候选理论。根据这一理论，空间可被细分为体积“原子”，容纳物质和能量的能力有限，因此奇点实际上不可能存在。
- 如果确实如此，时间或许可以延伸到大爆炸之前。大爆炸前的宇宙也许经历了一场灾难性的坍缩，当密度达到最高点后发生了逆转。简而言之，一场大坍缩导致了一场大反弹，随即触发了大爆炸。

难题

► 广义相对论失效

大爆炸这一概念来源于一个简单的观测事实：宇宙中的星系都在相互远离。如果逆着时间倒推回去，所有星系（或者它们的前身）必然会在 137 亿年前汇聚在一起。事实上，根据爱因斯坦的广义相对论，这些物质会挤压成一个密度无穷大的点，即大爆炸奇点。不过，无穷大的密度是不现实的：相对论预言存在奇点，标志着相对论本身并不完善。

大爆炸奇点

密度

时间

力极强的条件下，圈量子引力论的时空原子结构就会更加有用。

圈量子引力论的威力体现在，它有能力考虑时空的流动性。爱因斯坦的伟大之处在于，他认识到时空并非仅仅是一个供宇宙演化这出“大戏”上演的舞台，它本身也在这出“大戏”中扮演着主要角色。时空不仅决定着宇宙中各类天体的运行方式，还主宰着宇宙的演化历程。物质与时空之间的复杂互动也一直在上演。空间本身可以增大和缩小。

圈量子引力论将这一观念延伸到了量子领域。它借鉴了我们对于物质粒子的理解，并套用到时空原子上，把最基本的概念统一起来。举例来说，量子电动力学中的真空意味着不包含

光子之类的粒子，在这种真空中每增加一份能量，就会产生一个新的粒子。而在量子引力论中，真空意味着不包含时空——一种让我们简直无法想象的、彻底的虚空。根据圈量子引力论的描述，在这种真空中每增加一份能量，便会产生一个新的时空原子。

时空原子构成了一个致密且不断变动的网格。大尺度上，它们的动态变化让演化中的宇宙遵从经典广义相对论。在正常情况下，我们永远不会注意到这些时空原子的存在：这些网格排布得异常紧密，以至于时空看起来连成一片、没有间断。不过，当时空中充满能量时——如大爆炸发生瞬间，时空的精细结构就会发挥作用，圈量子引力论的预言就会偏离广义相对论的预言。

●●● 物极必反

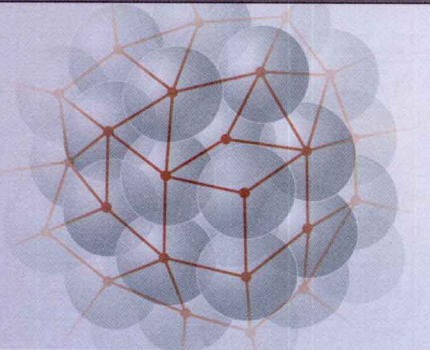
时空就像海绵，虽然可以容纳海水，但容量有限。一旦时空中容纳的物质和能量密度过高，万有引力就会表现为斥力，推动空间加速膨胀。

运用圈量子引力论推导计算是一项极其复杂的任务，因此我和同事们使用了简化模型，只考虑宇宙中最基本的特征（比如大小），而忽略我们不太感兴趣的其他细节，还不得不借用物理学和宇宙学中的许多标准数学工具。比如，理论物理学家常常用微分方程来描述这个世界，这些方程详细确定了物理量（比如密度）在时空连续体的每一点上的变化率。但当时空不再连续，而是由无数“微粒”聚集而成时，我们就要转而使用所谓的差分方程，它们能将连续体拆分成离散区间加以处理。这样的宇宙在成长过程中，大小不再会连续变化，而是沿着一个“尺寸阶梯”拾阶而上，这些差分方程描述的就是宇宙大小的这种“阶梯式”变化过程。1999 年，我开始分析圈量子引力论在宇宙学上的应用，当时大多数研究人员预言，这些差分方程得出的结果只不过是经典理论微分方程计算结果的简单重复。

圈量子引力

► 空间原子

相对论之所以遇到难题，是因为它假设空间是连续体。圈量子引力论等更为复杂的理论认为，空间是由细小的“原子”（图中的圆球）构成的网格。这些原子的直径（图中的线段）被称为普朗克长度。在如此之短的距离上，引力和量子效应的强度相当。



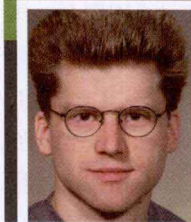
不过，意想不到的结果很快就出现了。

引力通常表现为一种吸引力。一团物质倾向于在自身重力作用下坍塌，如果它的质量足够大，引力就会压倒其他所有力量，将这团物质压缩成一个奇点，比如黑洞中心的奇点。但圈量子引力论提出，时空原子结构会在能量密度极高的情况下改变引力的本性，使它表现为斥力。

将空间想象成一块海绵，把质量和能量想象成水。疏松多孔的海绵可以蓄水，但容量有限。一旦吸满了水，海绵就无法再吸收更多的水，反倒会向外排水。与此类似，原子化的量子空间疏松多孔，能够容纳的能量也是有限的。如果能量密度过大，排斥力就会发挥作用。广义相对论中的连续空间则完全相反，可以容纳无穷多的能量。

量子引力改变了受力平衡，奇点便不可能形成，密度无穷大的状态不可能达到。按照这一模型，早期宇宙中物质密度极高但并非无穷，相当于每个质子的体积内挤压了一万亿颗太阳。在如此极端的环境中，引力表现为排斥力，导致空间膨胀；随着密度的降低，引力重新变成我们所熟悉的吸引力。惯性使宇宙膨胀一直维持至今。

事实上，表现为排斥力的引力会导致空间加速膨胀。宇宙学观测似乎要求宇宙极早期存在这样一段加速膨胀时期，称为宇宙暴涨（cosmic inflation）。随着宇宙的膨胀，驱动暴涨的力量逐渐消失。加速一旦终止，过剩的能量便转化为普通物质，开始填满整个宇宙——这一过程被称为宇宙“再加热”（reheating）。在目前的主流宇宙学模型中，暴涨是为了迎合观测而特别增加进来的；而在圈量子引力宇宙学中，暴涨是时空原子本性的自然结果。在宇宙很小、时空的疏松多孔性仍然相当显著的时候，加速膨胀便会自然而然地发生。



本文作者

马丁·博约沃尔德是把圈量子引力论应用到宇宙学的领军人物。他是美国宾夕法尼亚州立大学引力及宇宙研究所的研究员。2003年，博约沃尔德获得引力研究基金会的短文竞赛一等奖，在2007年获得国际广义相对论及引力学会的克桑索普洛斯奖（Xanthopoulos Prize）。在研究物理学之余，他喜欢阅读经典名著，还喜欢去宾夕法尼亚中部的阿巴拉契亚山长跑。

宇宙健忘症

奇点的消失让时间起点不复存在，宇宙可能在大爆炸前就已经存在。不过，反弹会抹去大爆炸前宇宙的几乎所有痕迹。

宇宙学家曾经认为，宇宙的历史最多追溯到爆炸，大爆炸奇点界定了时间的开端。然而，在圈量子引力宇宙学中，奇点并不存在，时间也就没有了开端，宇宙的历史或许可以进一步向前追溯。其他物理学家也得出了类似的结论，不过只有极少数模型能够完全消除奇点；大多数模型，包括那些根据弦论建立起来的模型，都必须对奇点处可能发生了什么做出人为假设。相反，圈量子引力论能够探查“奇点”处发生的物理过程。建立在圈量子引力论基础上的模型，尽管确实经过了简化，

但仍然是从一般性原理中发展起来的，能够避免引用新的人为假设。

使用这些差分方程，我们可以尝试重建大爆炸前的宇宙历史。一种可能的情景是，大爆炸之初的高密度状态，是大爆炸前的宇宙在引力作用下坍塌形成的。当密度增长到足够高，使引力表现为排斥力时，宇宙便开始再度膨胀。宇宙学家将这一过程称为反弹。

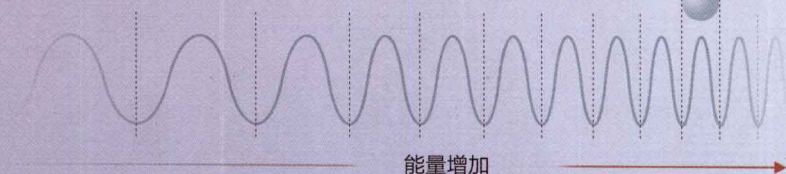
首个得到深入研究的反弹模型是一个理想化模型，其中的宇宙高度对称，而且仅包含一种物质。这些物质粒子没有质量，彼此不发生相互作用。尽管十分简单，但理解这一模型仍然需要进行一系列数值模拟。直到2006年，美国宾夕法尼亚州立大学的阿沛·阿什特卡尔（Abhay Ashtekar）、托马什·帕夫洛夫斯基（Tomasz Pawłowski）和帕拉姆普利特·辛格

时空原子能做什么

▶ 压迫与反抗

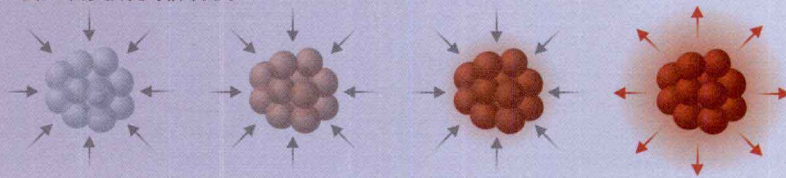
如果你把越来越多的能量挤压到某一空间体积之中，携带这些能量的粒子的波长就会缩短，最终收缩到与空间“原子”大小相当的程度。

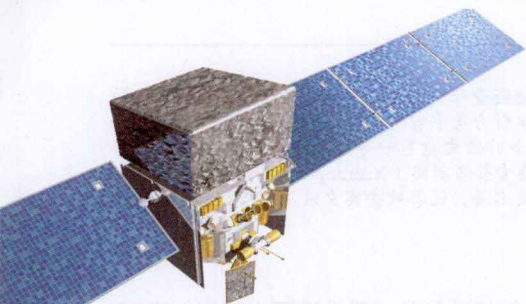
空间“原子”大小



能量增加

此时，空间才算真正被填满了。如果你试图向其中挤压更多的能量，空间就会将它们反推回来。该过程看起来就像是这一区域产生的万有引力从吸引力转变成了排斥力。





▲天文学家 有能力寻找时空原子存在的证据，比如时空原子导致的类似随机布朗运动的效应。

(Parampreet Singh) 才完成了这些数值模拟。他们考察了模型中波的传播过程，这些波代表了大爆炸前后的宇宙。该模型清楚地表明，这些波不会盲目地沿着经典路线堕入大爆炸奇点的深渊，一旦量子引力的排斥力发挥作用，波就会停止并反弹回来。

这些模拟还得出了一个令人兴奋的结果：在反弹过程中，一向声名狼藉的量子不确定性似乎始终保持缄默。量子不确定性常常导致量子波扩散，但在整个反弹过程中，模型中的波始终保持局域性。表面上看，这一结果暗示，反弹发生前的宇宙与我们的宇宙惊人相似：两者都遵从广义相

对论，或许都充斥着恒星和星系。果真如此的话，我们就能逆着时间令如今的宇宙反演回去，跨越宇宙反弹，推算出反弹前宇宙的状态，就像我们根据两个撞球碰撞后各自的轨迹，推算出碰撞前它们的运动状态一样。我们没有必要知道碰撞发生时，每个撞球中的每一个原子究竟如何运动。

可惜的是，我后来作的分析粉碎了这一希望。我证明，这一模型以及在数值模拟中使用的量子波都是特例：在通常情况下，这些量子波会扩散开来，量子效应也十分明显，必须被计算在内。因此宇宙反弹并不像撞球碰撞那样，仅仅是一个排斥力简简单单向外一推就能完成的。相反，宇宙反弹或许表明，我们的宇宙是从一种几乎不可理解的量子状态中涌现出来的，也就是说是从一个充斥着大量剧烈量子涨落的混乱世界中演化而来的。即使反弹前的宇宙与我们的宇宙十分相似，它也会经历一段漫长的时期，在这段时期内，物质和能量密度会发生剧烈的随机涨落，把一切都搅得面目全非。

大爆炸前后的密度涨落彼此间并

没有很强的关联。大爆炸前宇宙中的物质能量分布，可能与大爆炸后的宇宙完全不同，这些具体细节可能无法在宇宙反弹的过程中保留下来。换句话说，宇宙患有严重的健忘症。宇宙可能在大爆炸前就已经存在，但反弹过程中的量子效应几乎会把大爆炸前宇宙的所有痕迹清除得干干净净。

●●● 记忆碎片

引力波和中微子可能携带有大爆炸前宇宙的残留记忆，探测空间网格对光波的影响也有助于证实时空原子的存在。

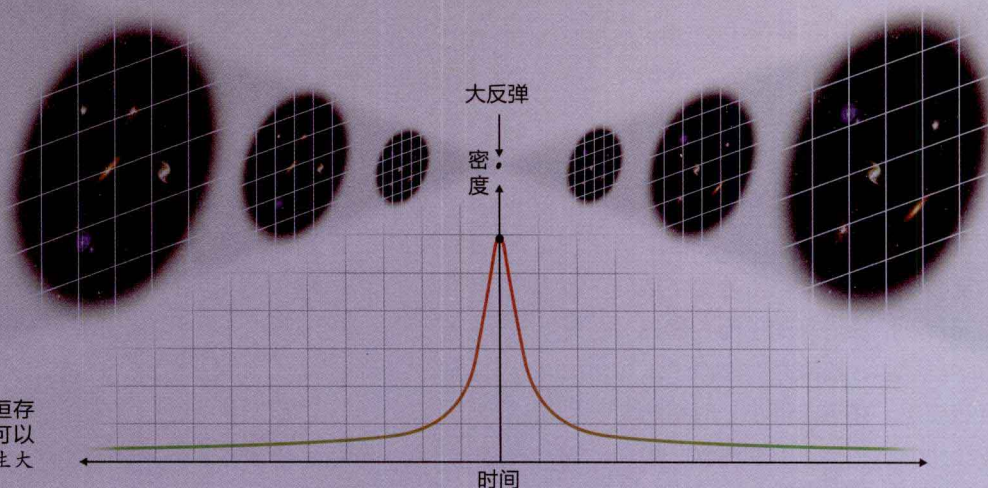
根据圈量子引力论推导出的宇宙大爆炸图景，比传统的奇点观念更加不可思议。广义相对论确实会在奇点处失效，但圈量子引力论能够处理那里的极端环境。大爆炸不再是物理学上的万物开端，也不再是数学上的奇点，但它实际上给我们的认知范围设置了一个极限。大爆炸后保留至今的所有信息，都无法向我们展示大爆炸前宇宙的完整面貌。

宇宙起源新观点

► 大反弹取代大爆炸

圈量子引力论给空间中所能容纳的能量设置了一个上限，从而用大反弹取代了大爆炸奇点。大反弹看起来似乎是一个起

点，但实际上只是前一个状态向后一个状态转化的过渡阶段。这场反弹启动了宇宙膨胀。



在一种模型中，宇宙是永恒存在的。它先是坍缩，达到可以允许的最大密度（此时发生大反弹），然后再膨胀开来。

这一结果看似令人沮丧，但从概念上说，却无异于一道福音。日常生活中的所有物理体系，无序程度都趋向于不断增长。这一原理被称为热力学第二定律，是人们反驳宇宙永恒存在的论据之一。如果已经逝去的时间无穷无尽，而有序度又一直在不断减小，如今的宇宙就应该十分混乱，以至于我们看到的星系结构，乃至地球本身，都几乎不可能存在。程度适当的宇宙健忘症或许可以拯救永恒宇宙，能将宇宙还原成一张白纸，抹去先前积累下来的所有“混乱”，让如今这个正在成长的年轻宇宙得以存在。

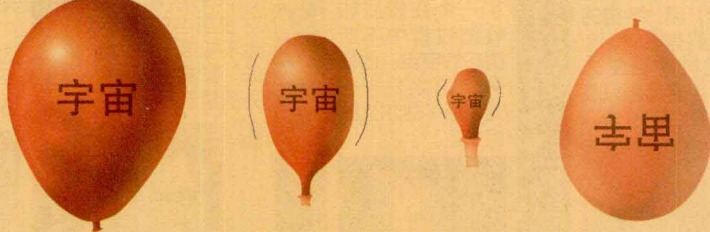
根据传统热力学，“白纸”这样的东西根本不可能存在；每一个系统都会在原子的排列方式中保留一份过去的记忆（参见本书《时间箭头的宇宙起源》一文）。不过圈量子引力论允许时空原子的数目发生变化，因此在整理过去留下的混乱局面时，宇宙能够跳出经典物理学的约束，享有更大程度的“自由”。

不过，并不是说宇宙学家完全没有希望探测这段量子引力时期。引力波（gravitational wave）和中微子是两种

镜子 镜像

尽管大反弹时存在一些效应会把宇宙搅得面目全非，但物理学家仍然可以对反弹之前的宇宙作一些合理猜测。有些猜测确实十分奇怪。比如，圈量子引力论的差分方程暗示，反弹前的时空区域是如今我们宇宙中空间的镜像。也就是说，反弹之后表现为右旋的东西，在反弹前是左旋的，反之亦然。

为了形象地描绘这一效应，请设想一个正在放气的气球。这个气球不会瘫软成一张柔软的橡皮，而会保持能量和动量守恒。一旦开始运动，这张橡皮就倾向于保持运动状态。因此，当气球收缩到最小状态时，它会内外翻转，再度开始膨胀。原先的气球外表面会变成内表面，反之亦然。与此类似，当时空原子在大反弹时彼此交错而过，宇宙也会发生“内外翻转”。



这种翻转十分有趣，因为基本粒子并不完全镜像对称；这些倾向性发生改变时，必然有某些过程会随之而变。这种不对称性在理解宇宙反弹过程中物质如何变化时，必须被考虑在内。

——马丁·博约沃尔德

很有前途的探测工具，它们几乎不与物质发生相互作用，因此可以穿过大爆炸时的原初等离子体，损失程度最小。这些信使或许可以给我们带来临近大爆炸，甚至大爆炸之前的消息。

寻找引力波的一种方法，就是研究它们在宇宙微波背景辐射上留下的印记。如果表现为排斥力的量子引力确实驱动了宇宙暴涨，宇宙学观测或许就能找到这些印记的若干线索。理论学家还必须确定，这种新的暴涨源头能够再现其他的宇宙学观测结果，特别是我们在微波背景辐射中观察到的早期宇宙中物质密度的分布模式。

与此同时，天文学家可以寻找时空原子导致的、类似于随机布朗运动的现象。比如，时空量子涨落可以影

响光的远程传播方式。根据圈量子引力论，光波不可能连续，它必须栖身于空间格点之上。波长越短，格点对光波的影响就越大。从某种意义上说，时空原子会不断冲击光波。因此，不同波长的光会以不同的速度传播。尽管差异极小，但在长距离传播的过程中，这些差异会逐步积累。伽马射线暴之类的遥远光源，为检测这种效应提供了最佳机会（参见本书《GLAST：观察宇宙的新窗口》一文）。

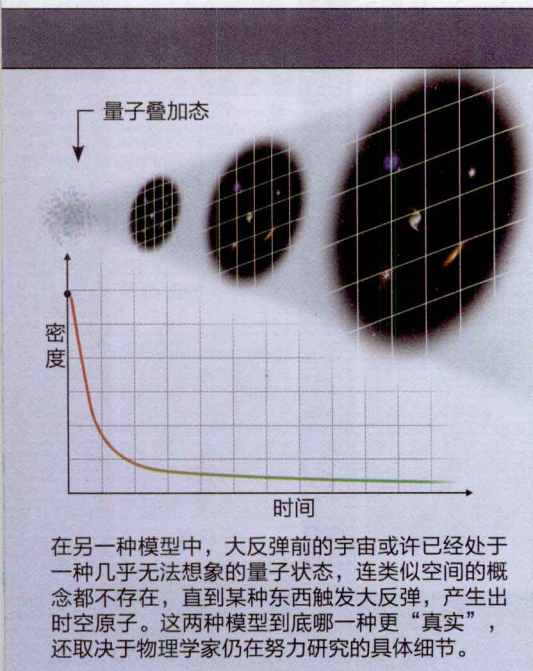
对于物质原子而言，从古代哲学家提出最早的设想，到爱因斯坦分析布朗运动，从而正式确定原子属于实验科学范畴，其间经历了超过 25 个世纪的漫漫探索之路。对于时空原子而言，探索之路或许不会如此漫长。

拓…展…阅…读

Quantum Gravity. Carlo Rovelli. Cambridge University Press, 2004.

What Happened before the Big Bang? Martin Bojowald in *Nature Physics*, Vol. 3, No. 8, pages 523–525; August 2007.

Loop Quantum Cosmology. Martin Bojowald in *Living Reviews in Relativity*, Vol. 11, No. 4; July 2, 2008. Available at <http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2008-4>



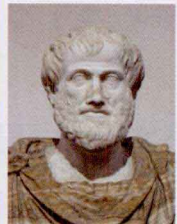
在另一种模型中，大反弹前的宇宙或许已经处于一种几乎无法想象的量子状态，连类似空间的概念都不存在，直到某种东西触发大反弹，产生出时空原子。这两种模型到底哪一种更“真实”，还取决于物理学家仍在努力研究的具体细节。

宇宙起源研究简史

撰文/虞骏

17 世纪以前

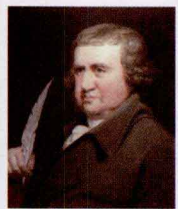
有史以来，宇宙是否存在开端一直是一个争论不断的哲学话题。古希腊哲学家亚里士多德认为宇宙永恒，不存在开端。犹太教徒、基督教徒和伊斯兰教徒则相信神创论，因此宇宙的历史是有限的。在现代科学诞生之前，宇宙起源只能停留在空想阶段。



亚里士多德

1791 年

英国医生、自然哲学家、诗人伊拉斯谟·达尔文在一首名为《The Botanic Garden》的诗中，首次描述了一个在膨胀和收缩过程中不断循环的宇宙。他是进化论之父——查尔斯·达尔文的祖父。



伊拉斯谟·达尔文

1912 年

美国天文学家维斯托·斯里弗发现，大多数螺旋星云都在远离地球。他当时并未意识到这项发现对宇宙学的意义，也不知道这些“星云”其实是银河系外的星系。



斯托·斯里弗

1922 年

苏联宇宙学家、数学家亚历山大·弗里德曼发现了广义相对论方程的膨胀宇宙解。他是第一位抛弃宇宙学常数，将广义相对论应用到宇宙学上的科学家，从理论上预言了宇宙的膨胀。



弗里德曼

1929 年

美国天文学家埃德温·哈勃发现，相对于地球，星系在各个方向上远去速度正比于它们到地球的距离。换句话说，任何两个星系之间距离越大，它们彼此远离的相对速度也就越大——这意味着宇宙正在膨胀。爱因斯坦接受了这一事实，放弃了宇宙学常数，称这是他“一生中犯过的最大错误”。



哈勃

17 世纪以前

1610 年

1791 年

1848 年

1912 年

1916 年

1922 年

1927 年

1929 年

1934 年

1610 年

德国数学家、天文学家开普勒用黑暗的夜空证明宇宙有限。如果宇宙无穷无尽且永恒不变，那么不论朝天空中哪个方向看过去，最终都会遇到恒星，因此夜空应该像太阳一样耀眼——显然这与事实不符。



开普勒

1848 年

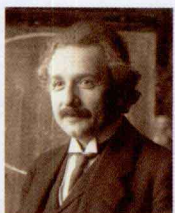
美国著名诗人、短篇小说家爱伦·坡在一本名为《Eureka》的散文诗集中提出设想：一个有限的宇宙起源于一粒“原始粒子”，在一种排斥力的作用下向外膨胀，产生出宇宙中所有的物质；物质均匀分散在整个空间，在引力作用下聚集成团，形成恒星和恒星系统；引力再使这个物质宇宙收缩，最终回到“原始粒子”状态，以便开始下一次膨胀与收缩的轮回。不过没有人将这一设想视为科学假说。



爱伦·坡

1916 年

爱因斯坦发表广义相对论。广义相对论的宇宙学方程不存在静态解，因此宇宙要么膨胀，要么收缩，不可能静止不变。爱因斯坦认为这一结果是错误的，因此在方程中加入宇宙学常数，试图纠正这一“错误”。



爱因斯坦

1927 年

比利时天主教牧师乔治·勒迈特在广义相对论的基础上，提出宇宙起始于一个“原始原子”的“爆发”。宇宙起源的这一“原始原子”模型，是后来宇宙大爆炸理论的原型。但是，按照广义相对论，“原始原子”是个密度无穷大的奇点，让很多物理学家感觉很自然。



勒迈特

1934 年

美国数学物理学家理查德·托尔曼把热力学应用到宇宙学，提出了震荡宇宙学模型。该模型认为，宇宙最终会收缩到一个高密度状态，然后再开始重新膨胀；目前的宇宙也是以前宇宙收缩反弹后开始膨胀的。这个模型似乎可以绕开密度无穷大的奇点。



托尔曼

1948 年

美籍俄裔理论物理学家、宇宙学家乔治·伽莫夫和他的学生拉尔夫·阿尔菲发展了勒梅特的模型，成功解释了宇宙中占物质总量 99% 的氢、氦元素的形成和相对比例。他们还预言宇宙中存在温度为 5K~10K 的黑体辐射，是早期宇宙中 10 亿 K 的高温留存至今的“余热”。至此，大爆炸模型已初具雏形。



伽莫夫

1965 年

美国工程师阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊意外发现了宇宙微波背景辐射，这正是伽莫夫等人预言的大爆炸“余热”。霍伊尔的稳恒态宇宙无法解释背景辐射的存在，因而在宇宙学竞争中败下阵来。不过，微波背景辐射在所有方向上温度都高度均匀，这一点热大爆炸理论无法解释，这个问题被称为“视界难题”。



威尔逊和彭齐亚斯

1980 年

美国理论物理学家、宇宙学家阿兰·古斯提出宇宙暴涨模型，认为宇宙在大爆炸最初极短的时间内，经历过一场疯狂的加速膨胀。这个模型不仅解释了微波背景辐射的“视界难题”，还解决了宇宙平坦性问题等其他困扰大爆炸理论的难题。但暴涨本身为什么会发生，这个问题还没有定论。



阿兰·古斯

2003 年-2005 年

美国航空航天局的 WMAP 探测器，公布了对宇宙微波背景辐射的一年期观测结果，结合其他宇宙学观测，确定大爆炸发生于 137 亿年前，并精确测定了宇宙物质构成等宇宙学参数。2005 年公布的三年期观测结果，为暴涨模型提供了新的证据。



WMAP 观测到的微波背景

2007 年

德裔物理学家马丁·博约沃尔德研究发现，尽管圈量子引力论可以避免大爆炸奇点，但大爆炸极早期强烈的量子涨落效应，会抹去此前可能存在的几乎所有信息。换句话说，宇宙患上了严重的健忘症，即便大爆炸前宇宙已经存在，我们也不太可能获得那个宇宙中的任何完整信息。



博约沃尔德

1948 年

1948 年

1965 年

1970 年

1980 年

1988 年

2003 年-2005 年

2006 年

2007 年

2008 年

1948 年

英国天文学家弗雷德·霍伊尔及其同事提出稳恒态宇宙模型。该模型承认宇宙膨胀，但认为物质会持续不断地产生，以维持宇宙状态的稳恒不变。这样一个宇宙永恒存在，因而没有开端。这一模型成了大爆炸理论的强有力竞争者。



霍伊尔

1970 年

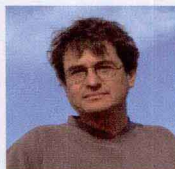
英国理论物理学家史蒂芬·霍金及其同事证明，奇点是爱因斯坦广义相对论的本质特征。在广义相对论的框架中，大爆炸起始处的奇点不可避免，连震荡宇宙学模型也绕不开奇点。从此，大部分宇宙学家接受了“宇宙存在起点，年龄有限”的观点。但是，奇点处的物理过程，必须将广义相对论与量子力学结合在一起，才能够正确描述。



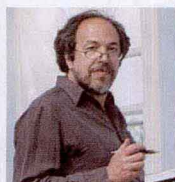
霍金

1988 年

意大利物理学家卡洛·罗韦利和美国理论物理学家李·斯莫林提出了量子引力论的一个候选理论——圈量子引力论。该理论预言，时空由“时空原子”构成，空间中能够容纳的物质和能量是有限的。但这一理论是否正确，还有待未来实验或观测的证实。



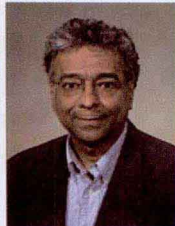
罗韦利



斯莫林

2006 年

印度裔物理学家阿沛·阿什特卡尔及其同事，将圈量子引力论应用于简化的宇宙学模型。他们模拟了量子波在大爆炸时的传播，以此描述宇宙大小的变化。模拟结果类似于震荡宇宙学模型，但是避免了奇点的出现。在他们的模型中，大爆炸并非宇宙起点。



阿什特卡尔

2008 年

WMAP 公布五年期观测结果，细化了大爆炸及随后宇宙演化过程的更多细节。比如找到了证据，表明第一代恒星花了至少 5 亿年时间，才重新电离了宇宙中的气体，使光在宇宙中自由传播。没有任何其他理论能够像大爆炸那样，精确解释我们观测到的几乎所有宇宙现象。但大爆炸是否代表了宇宙的起点，还有待量子引力论的进一步发展。

恒星的艰难诞生

一团星云在自身重量下坍缩，核心变得越来越密、越来越热，最终点燃了核聚变反应，一颗光芒四射的恒星就此诞生——这是小学课本上就讲过的基础知识，但天文学家仍被其中一些细节所困扰：形成恒星的星云从何而来，又为什么会开始坍缩？大多数恒星形成于密集的星群，彼此会如何影响？最耀眼的大质量恒星又如何突破理论限制而最终形成？

撰文/埃里克·T·扬 (Erick T. Young)

翻译/谢懿

恒星形成理论的缺陷

- 尽管天文学家的恒星形成理论近年来取得了突破，但仍然存在严重的漏洞：恒星形成于坍缩的气体云团，那这些气体云团从何而来，又是什么原因使它们坍缩？
- 标准模型都把恒星当成孤立的个体，忽略了恒星之间的相互作用和恒星对气体云团的反作用。
- 在填补这些漏洞方面，天文学家正在取得进展。比如，他们已经理解了大质量恒星触发气体云团坍缩和新生恒星把彼此甩入宇宙深空的过程。

如果说，有什么事情被人们认为已经被天文学家搞得一清二楚了，那多半会是恒星的形成过程。关于恒星形成的基本想法可以追溯到18世纪的伊曼纽尔·康德 (Immanuel Kant) 和皮埃尔-西蒙·拉普拉斯 (Pierre-Simon Laplace)，20世纪上半叶的物理学家则弄清楚了恒星如何发光和演化的细节。如今，支配恒星的物理学规律已经成为中学物理的必考内容，只有暗物质这样稀奇古怪的东西才能占据报纸的头版头条。恒星如何形成的问题似乎已经被搞定了。但事实远非如此。恒星的诞生仍是当今天体物理学中最活跃的领域之一。

用最简单的话来讲，恒星形成的过程就是引力战胜压强的过程。这一过程始于飘浮在星际空间之中的巨大气体尘埃云。如果这团星云——或者更确切地说，通常是这样一团星云内

部被称为“云核”的致密区域——温度足够低，密度足够大，向内的引力就会超过向外的气体压力，它就会在自身重量的作用下开始坍缩。这团星云或者这个云核会变得越来越致密、越来越炽热，最终点燃核聚变反应。聚变产生的热量升高了内部压强，进而停止坍缩。于是这颗新诞生的恒星就会进入一种动态平衡状态，可以持续数百万乃至上万亿年。

这个理论是自治的，并且和大量观测相符，但还远未完善。上一段中的每一句话都亟需进一步解释。确切地说，有四个问题困扰着天文学家。

第一，如果高密度的云核是孵出恒星的“蛋”，那下蛋的“母鸡”在哪里？星云自身肯定不是凭空出现的，它们的形成过程还没有被很好地理解。

第二，什么原因使得云核开始坍缩？无论最初的机制是什么，它决定了恒星的形成率以及恒星的最终质量。

第三，胚胎期的恒星如何彼此影响？标准理论描述的都是孤立的单颗恒星，并没有告诉我们恒星密集形成时会发生什么——而这才是绝大多数恒星形成时的状态。最近的发现预示，就连我们的太阳都形成于一个已经瓦解的星团之中（参见本书《寻找太阳失散的兄弟姐妹》一文）。在拥挤的托儿所里长大和当一个独子，会有什么不同？

第四，质量极大的恒星到底是怎



▲哈勃空间望远镜上新安装的大视场照相机3号，2009年拍摄到了星系M83核心附近猛烈的恒星形成过程。标准模型无法解释其中出现的大质量蓝色恒星，也无法解释这些恒星将能量返还给母星云的方式。