

彭罗斯和他的循环宇宙

徐兴无

(合肥国轩高科动力能源有限公司工程研究总院 230012)

2020年10月6日,89岁的英国数学家罗杰·彭罗斯(Roger Penrose)“因为其发现黑洞的形成是对广义相对论的有力预测”而获得了当年的诺贝尔物理学奖。而这里要对大家重点介绍的,不是黑洞,而是彭罗斯思考了40年之久的循环宇宙模型。

一、彭罗斯生平简介

彭罗斯于1931年8月8日出生于英国的东南部城市科尔切斯特。父亲是精神病学家及遗传学家,母亲是医生,爷爷是艺术家,叔叔是艺术家,哥哥是物理学家,弟弟是国际象棋特级大师,妹妹是遗传学家……。用现在的话说,彭罗斯是出生在一个不折不扣的知识分子家庭。

彭罗斯的童年是在加拿大度过的。大约从10岁开始,受家庭的影响,彭罗斯对数学,特别是几何产生了浓厚的兴趣。15岁的时候,彭罗斯随父母回到了英国。1952年彭罗斯考取了伦敦大学学院。1954年,还是大学生的彭罗斯在参加一个会议的偶然机会看到了“矛盾空间”画家埃舍尔的作品,于是就开始设计自己的“不可能物件”:先是一个“彭罗斯三角形”(图1),接着是和他父亲一起设计的“彭罗斯阶梯”(图2)。

仔细观察这两幅图你会发现,它们都是在一处把“不可能”通过视觉设计成了“可能”,于是构成了一个永久的循环。例如图2,在箭头所指处事实上是高出来的,但视觉造成了低于上一个台阶的假象,这样你沿着台阶往下走就可以一直走下去。这就是彭罗斯所沉迷的无限循环的思想,该思想为他以后的循环宇宙模型埋下了种子。

1957年彭罗斯在剑桥大学获得了博士学位。

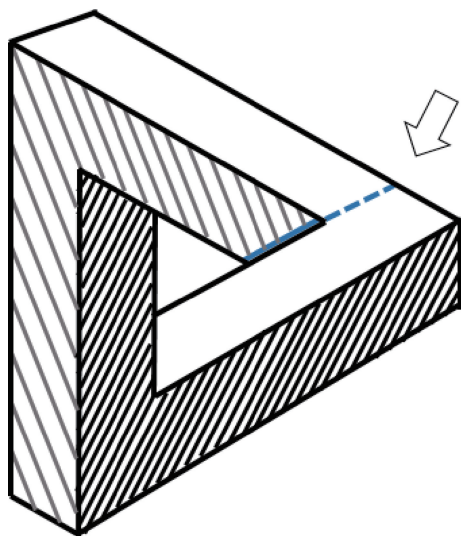


图1 彭罗斯三角形

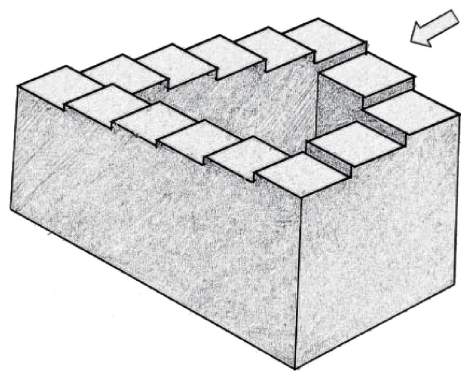


图2 彭罗斯阶梯

之后在美国和英国的多个大学做研究和教学工作,其中包括美国的德克萨斯大学、英国的伦敦大学、牛津大学等。

1964年彭罗斯开始用数学工具研究爱因斯坦的弯曲时空结构(包括共形结构),1965年初发表了著名的“宇宙奇点不可避免定理”。彭罗斯于1969年提出“弱宇宙监督假说”,1974年提出“强宇宙监督假说”(即宇宙会避免黑洞奇点的出现)。

1974年彭罗斯发明了著名的“彭罗斯贴砖”，即用非周期性的图案也能贴成无限延伸的地面。

彭罗斯获得过很多大奖。除了2010年和莱茵哈德·根泽尔(R. Genzel)、安德里亚·格兹(A. Ghez)共同获得的诺贝尔物理学奖之外，还有1975年和霍金(S. W. Hawking)共同获得的英国皇家天文学会颁发的爱丁顿奖，1990年爱因斯坦协会颁发的爱因斯坦奖，2004年伦敦数学学会颁发的德·摩根奖，2005年英国皇家学会颁发的科普利奖等。

二、循环宇宙模型

2010年，彭罗斯出版了 *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (《时间的循环：一个奇特的关于宇宙的新观点》，中译本《宇宙的轮回》)。书中系统地阐述了彭罗斯的循环宇宙模型。彭罗斯在前言和引子中说，20世纪50年代流行的恒稳态宇宙学认为，宇宙是无始无终的。到了20世纪60年代末，随着宇宙微波背景辐射(CMB)的发现，热大爆炸宇宙学成了正统的宇宙模型。这个模型认为，宇宙起源于138亿年之前的一次大爆炸。这就产生一个问题：大爆炸之前发生了什么？宇宙到底是从哪里来的呢？

彭罗斯认为，宇宙大爆炸的起点其实也是上一代宇宙的终点。但是我们知道，宇宙起源于一个非常小、非常炽热的原初奇点或黑洞，那么这个不断膨胀的无限大宇宙又怎样变成那个无限小的黑洞的呢？这里彭罗斯给出了一个共形循环宇宙学的概念(Conformal Cyclic Cosmology, 简称CCC)。首先解释一下什么是共形，或共形流形，通俗地说就是等价的相似形，比如说一个缩小的地球仪和一个放大的地球仪就是共形流形。彭罗斯的意思是想把宇宙的终点通过共形变换和起点统一到一起，也就是说这两点是等价的、相似的。在彭罗斯看来，宇宙大爆炸两边的物质组成基本上都是无质量的粒子，它们的物理行为取决于共形不变方程，这样这些物质就能进入一种共形的时空假想延伸。换句话说，宇宙膨胀很长很长时间(也许是 10^{100} —即

一个google年)以后，所有的物质都会变成无质量的粒子，最后都会收缩到黑洞中去。彭罗斯说，“如果说大爆炸是时间的开始，那么黑洞里的奇点就代表时间的终结。”“每一条从视界内发出的因果曲线，在尽可能地向未来延伸时，一定会终结于中心黑洞”。这里“大”和“小”是等价的，大爆炸的终点也就变成了下一次大爆炸的起点了。

以上是共形宇宙模型的基本概念。它从宇宙膨胀开始，考察了膨胀中宇宙的熵的变化。彭罗斯使用了一个数学工具：外尔(Weyl)曲率(一种无物质空间的弯曲程度)。20世纪70年代时彭罗斯猜想，外尔曲率和引力熵有关联。在大爆炸起点时，宇宙的熵很小，这是由于熵会越来越大，那么过去的熵就一定很小，这就是熵的“过去假设”。那么这时的外尔曲率也很小(引力还没有发挥作用)。而随着宇宙的膨胀，熵及外尔曲率越来越大。但当宇宙膨胀到非常非常大之后，外尔曲率也变得非常大，然后利用外尔曲率的共形不变性质(和空间大小无关，只和形状有关)，宇宙又回到了低熵的初始状态(无质量无引力空间)。用物理语言说，就是宇宙膨胀到无限远时其温度和密度会降到有限值，而无限远的黑洞又把温度和密度升到有限值，这样就形成了一个光滑的连接，上一个宇宙的终点就进入了下一个宇宙的起点。彭罗斯说这个宇宙学纲领就是CCC(共形循环宇宙学)。

彭罗斯还建议，这样首尾相接的大爆炸是代代相传的，图3是书中给出的共形循环宇宙示意图。

这样，就变成了一种无限循环的宇宙了。这种思想也许来源于亚里士多德的“只有圆才能表示无限”的思想。彭罗斯说，“圆边界本身代表几何的无穷大，我要在这里向读者指出的，正是这种表现为有限光滑边界的无穷大共形表示，它将在我们以后的思想中起着核心的作用”。“共形图的特征就是，它们能将无限的时空区域“压缩”到有限的图形的里”，如图4，有限二维区域D中的一个点，经过一维轴无限旋转可以得到一个圆，经过二维轴无限旋转就可以得到M空间的一个球。

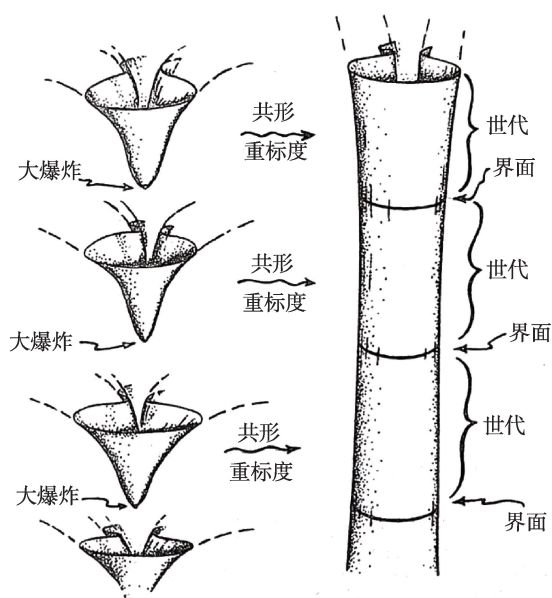


图3 共形循环宇宙示意图

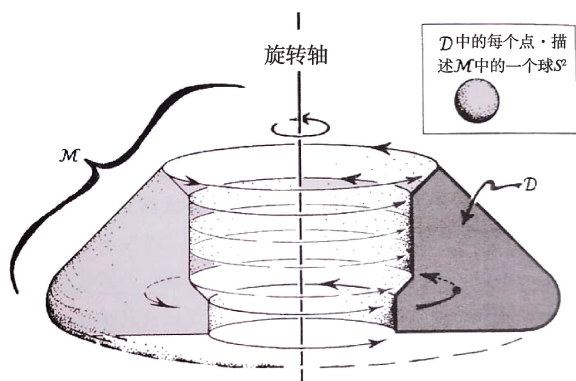


图4 无穷大共形示意图

问题的关键是,怎样才能把“终点”和“起点”无缝地、光滑地连接起来? 彭罗斯意识到了这个问题。如前面所说,彭罗斯认为宇宙在极早期所包容的实际上都是无质量的粒子。而当宇宙经过漫长的膨胀之后,所有物质进入黑洞并经过霍金辐射的“煎熬”,最终失去所有的质量。这样一来,二者就通过无质量粒子这个“桥”而光滑地连接起来了。但这里还有一个“熵”的问题。因为根据热力学第二定律,宇宙在膨胀的过程中其熵一直是在增大的。而宇宙大爆炸之初其熵则是很低的。怎样解决这个矛盾? 这是CCC理论遇到的最大挑战。彭罗斯这里“斧正”了热力学第二定律,即黑洞蒸发会使熵归零,并恳请读者接受黑洞信息可以丢失这个

观点,也就是说每一个循环结束“嘭”的一声的信息丢失过渡到下一个循环并不违反热力学第二定律。

为了证实这个CCC理论,彭罗斯试图在宇宙微波背景辐射(CMB)中找到世代连接处“碰撞”的痕迹。由于宇宙的终极命运是黑洞,而前代和后代“两个巨型黑洞在前一世代的相遇将引起猛烈的引力辐射爆发,这将表现为CMB天空上的温度增强或减弱(依赖于整体几何)的一个圆环。

2010年11月份,彭罗斯在arXiv(美国康奈尔大学提供的在线预印本文库)上公布了他的发现:在CMB上确实能找到这样的温度波动同心圆(图5)。

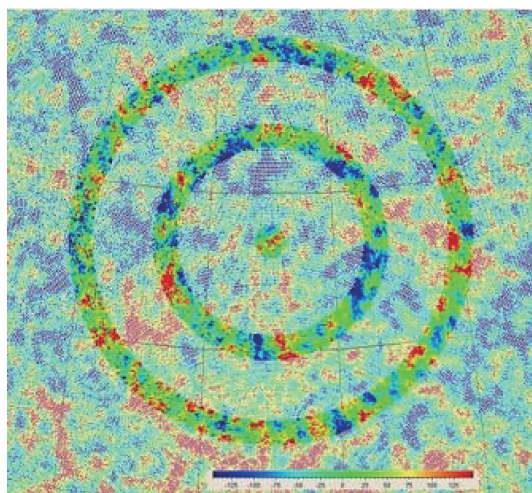


图5 CMB温度波动的同心圆

不过,这些圆环只是随机模拟CMB数据而得来的,这就遭到了一些人的批评。他们认为那是统计关联的表现,本质上还是随机的。但彭罗斯对此很有信心:“无论如何,这种情形总有不同寻常的诱人之处,似乎就等着我们去观测了。我们当然希望这些问题能在不远的将来得到澄清,那样的话,共形循环宇宙学的物理地位也能很快地以清晰的方式确定下来。”

三、总结与评价

目前占主流地位的是标准宇宙学。该理论认为,宇宙起源于138亿年前的大爆炸。但不能解释大爆炸之前发生了什么这个理论重大的缺陷之

一。同时,关于宇宙膨胀后的命运,也没有明确的结论。为此,也曾有过一些循环宇宙理论,如美国的斯坦哈特(P. J. Steinhardt)提出的负能拉动的膨胀-收缩反转循环宇宙模型,英国的弗兰普顿(P. H. Frampton)提出的膨胀-碎片收缩循环宇宙模型,等等。和这些理论不同的是,彭罗斯提出了“共形循环”宇宙模型,即把宇宙膨胀的终点通过“共形”等价到宇宙的起点,然后无限循环。这个思想也许来源于彭罗斯的大学时代,无论“彭罗斯三角形”还是“彭罗斯阶梯”,都是一种“假想”的首尾连接,然后无限循环的。但上述图形被称作是“不可能图形”,

也就是说它们在现实中是不存在的。但在宇宙学中,往往有很多曾认为“不可能的事物”最后成为了可能。如黑洞,开始很多人都认为是不能存在的,直到2019年拍到了黑洞的照片,人们才完全接受它。彭罗斯也因此而获得了诺贝尔奖。彭罗斯的共形循环宇宙学也是一样,一方面是没有确凿的观测证据,同时其理论本身也存在一些模糊的概念(如“无限大”和“无限小”的等价共形,“熵”的问题及斧正热力学第二定律等等),也许将来在彭罗斯的循环宇宙模型的基础上出现了新的理论,并得到了实验或观测的证实,那将是宇宙学的重大进步。



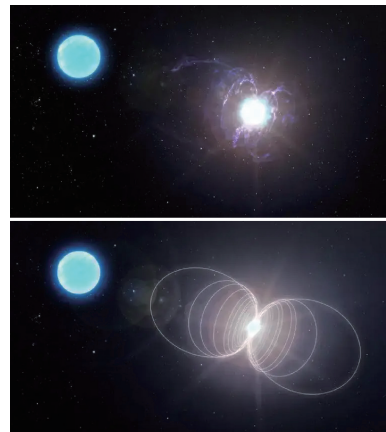
科苑快讯

天文学家发现奇怪的新型恒星

这是一颗不同寻常的恒星,HD 45166注定要成为宇宙中磁性最强的天体之一,即中子星的一种变体,被称为磁星。这一发现标志着一种新型天体(一颗巨大的磁性氦星)的发现,并揭示了磁星的起源。几百万年后,HD 45166将会爆炸,成为一颗非常明亮但能量不太大的超新星。在爆炸中,其核心将收缩,将恒星已经令人生畏的磁力线束缚和集中起来,结果将是一颗磁场远远大于其前身的中子星。

中子星是一颗大质量恒星在超新星爆炸后留下的致密残留物。这些残留物被认为是宇宙中密度最大的物质。一些被称为磁星的中子星,也拥有所有物体中最强的磁场。直径只有15千米的磁星如何形成并产生如此巨大的磁场,仍然是个谜。

HD 45166的最终命运是在核心坍塌后,形成一颗磁场约为100万亿高斯的中子星,这是宇宙中最强大的磁体。这是第一次在大质量氦恒星中发现了强磁场,但HD 45166的真实性质仍然不得而知。目前只发现了一些基本事实,包括它富含氦,比我们的太阳稍大,是双星系统的一部分。通过观测,这颗恒星现在的磁场强度惊人,高达约4.3万高斯,是迄今为止在



大质量恒星中发现的最强磁场。通过它与伴星的相互作用,研究小组能够精确估计其质量和年龄。研究人员推测,与其他最终从红巨星演化而来的氦恒星不同,这颗特殊的恒星可能是由一对中等质量恒星合并而成。

天文学家一直认为最有可能的磁星候选者来自质量最大的恒星,而这些研究告诉我们,如果条件合适,质量小得多的恒星仍然可以成为磁星。

(高凌云编译自2023年8月18日SciTechDaily网站)