

膜的新奇世界*

史蒂芬·霍金(Stephen Hawking)

你们能听到我吗？

在今天的演讲中，我将描述一个可能改变我们关于宇宙与实在本身的观念的激动人心的最新进展。这一进展的思想是：我们或许是生活在一个更大的空间中的一个膜或者一个曲面上！膜，这个字在英语中拼写成 B, R, A, N, E, 是我的同事 Paul Townsend(保罗·汤森德)引入的，用来描述日常意义下二维膜的高维推广。大脑(BRAIN)和膜的英文读音相同，这一双关语也许有相当的耐人寻味之处。

我们确信自己生存在一个三维空间中。即，我们可以借助三个数字来刻画房间里一个物体的位置。这三个数字可以是离北墙 5 英尺，离东墙 3 英尺，高于地板 2 英尺。或者在更大的尺度上，可被取作纬度、经度和海拔高度。在更大的尺度上，星系中一颗恒星的位置可以用星系纬度、星系经度和到星系中心的距离这三个数字来标识。除了标识位置的三个数字，我们能加入标记时间的第四个数字。于是，我们可以宣称自己生活在一个四维时空中，其中，每个事件以四个数字标记，三个数字表示事件的位置，第四个数字表示发生的时刻。正是爱因斯坦的天才，认识到时空并非平坦而是被其中的物质和能量所弯曲。

根据广义相对论，行星之类的物体总是试图沿着直线穿越时空，然而时空是弯曲的，于是行星的轨迹看似被引力场所弯曲了。打个比方，取一重物代表恒星，把此重物置于一块橡皮膜上。此物的重量会把橡皮膜压下去，从而使橡皮膜在重物近旁弯曲。如果你此刻在橡皮膜上负载一个小球，并让小球滚动，此图景就好像行星绕恒星做轨道运动。

利用设置在船只、飞机和某些车辆上的全球定位系统，通过比较来自不同卫星的信号，我们现在已经证明时空确实是弯曲的。如果还有人假定时空是平直的，那么他将计算出错误的位置。

三维的空间与一维的时间是我们所看到的。那么我们为什么要相信存在还没有被观察到的额外维度呢？它们仅仅是科学幻想吗？还是它们确有可探测的后果？我们认真对待额外维度的原因是，尽管爱因斯坦的广义相对论跟我们的观测相符，同时他的理论却预言了它自身的界限。Roger Penrose(罗杰·彭罗斯)和我证明了，在宇宙大爆炸中，时间有一个起点，时间的终点在黑洞里。在这些地方，广义相对论可能是失效的，因此人们无法用广义相对论来预言宇宙如何开始，或者对某个落入黑洞的人将会发生什么。广义相对论在宇宙大爆炸与黑洞里失效的原因是，它没有考虑物质在小尺度上的行为。在通常的情况下，时空的弯曲是非常轻微的，而且发生在相对大的尺度上。所以，小范围的涨落不会影响它。但是在时间的起点和终点上，时空被挤压成一个点。为了处理这个问题，我们需要将描述大尺度的广义相对论和描述小尺度的量子力学结合起来。这将产生一个描述宇宙从起点到终点的、包罗万象的理论。

在过去的 30 年里，我们一直在寻找这个包罗万象的理论。现在我们认为已经有了一个候选者，姑且称它为 M 理论。事实上，M 理论不是一个单一的理论，它是一组物理上等价的理论织成的网络。这一点迎合了关于科学的实证主义哲学。对于后者，理论仅是一个描述和整理观测数据的数学模型。人们无法询问一个理论是否反映了实在，因为我们没有与理论无关的方式来断定什么是实在。即使我们周围被视作显然实在的日常对象，在实证论者的眼中，也仅仅是构建在我们脑海里

* 转载自《数学译林》2002 年第 3 期第 193—197 页

原题为 Brane New World. 经与 Hawking 教授的助手 Neel Shearer 先生联系，征得 Hawking 教授本人的同意，本文译自 2002 年 8 月 18 日下午 Stephen Hawking 教授在北京国际会议中心所作的公众演讲的英文稿——译者注

用以诠释来自光学与触觉神经信号的模型。当谈及 Berkeley(贝克莱)主教的没有什么是实在的这一观念时, Samuel Johnson(塞缪尔·约翰逊)博士刻意地踢着那块巨石呼喊着:“如是我拒之。”但是,也许我们真的只是一个被连接起来的巨型的计算机模拟系统,我们发出一个启动信号,摆动一只虚构的脚,踢在一块虚构的石头上,计算机发回一个表示疼痛的信号。我们未必不是一些被外星人在电脑游戏里摆弄的角色。

放下这些笑谈,重要的一点是,我们对宇宙可以有几种不同的表述,并且都预言相同的观测结果。我们无法说一种表述比其他的更实在,只因在某一特定环境下它更方便而已。所以, M 理论网络中的所有理论都有相似的立足点,不能说某种理论比其他种更真实。

引人注目的是,在 M 理论网络的许多理论中,时空有高于我们所知的四维的维度。这些额外维度是真实的吗?我必须承认在接受额外维度上我曾有所保留。然而 M 理论网络配合得如此美妙,包含如此之多意想不到的对应关系,以至于我觉得如果忽略它,就如同宣称上帝有意把化石放入岩石以欺骗达尔文相信生物进化论一样。

在这个网络的某些理论里,时空是十维的,而在其他一些理论中,时空是十一维的。这从另一个方面表明时空及其维度并不是与模型无关的、绝对的数量,而是依赖特定数学模型的导出量。那么,时空又是如何对我们显现为四维,而在 M 理论中表现为十或者十一维的呢?为什么我们没有观测到另外六或者七维呢?一个迄今被广为接受的对此问题的常规解释是:那些额外维度都卷曲成一个微小的空间,而剩下四个几乎平直的维度。这类似于人的头发。如果你从远处看,它象一根一维的线。但是在一个放大镜下观察时,你会发觉其厚度,头发实际上是三维的。对于时空,如果卷曲的额外维度存在的话,一个足够强大的放大应该能揭示出那些卷曲的额外维度。事实上,我们能利用像正在日内瓦建造的大型强子对撞机那样的大型粒子加速器产生高能粒子,去探测时空的短距离。至少到现在,我们并未发现时空有超出四维的证据。假如额外维度的图像是正确的,那么它们必须卷曲得比一百亿亿分之一厘米还小。

我刚才表述的是所谓保守的额外维度的实现方案。它意味着,我们有较多机会探测到额外维度的唯一场所将是极早期宇宙。不过,最近出现了一个更为激进的建议,声称一个或者两个额外维度可以很大甚至是无限大。由于这些大的额外维度还不曾为粒子加速器所探测到,所以必须假定所有的物质粒子都被禁闭于时空中的一个膜或者一个曲面上,它们不能在大的额外维度中自由传播。光也不得不被限制于膜上,否则我们就已经探测到大的额外维度了,粒子间的核力也是同理。另一方面,引力,作为所有形态的能量与质量之间的普适作用,不能仅仅局限于膜上,而将穿透整个时空。

由于引力传递到大的额外维度与膜上,它理应比禁闭在膜上的电力随距离衰减得更快。然而,通过行星轨道观测我们了解到,由太阳产生的牵引引力随离太阳距离的下降和电力随距离的衰减方式相同。因此,如果我们生活在一个膜上,则需要一些理由解释为什么引力不传播到远离膜的地方而囿于膜的近旁。

一种可能是:大的额外维度中止于距离我们生活的膜不远的第二个影子膜上。因为光只能沿着膜传播而不能进出膜之间的空间,我们无法看到这个影子膜。不过,我们可以感觉到影子膜上的物质的引力。在影子膜上,也许有影子星系,影子恒星,甚至影子人,它们可能因为感觉到那些来自我们膜上的物质所产生的引力而惊叹。

对我们来说,这些影子物质会显现为暗物质——无法被看到但其引力可被感觉到的物质。事实上,在我们的银河系中,我们就有暗物质的证据。我们能看到的物质的数量,并不足以提供当它旋转时维系银河系在一块儿的引力。除非存在一些暗物质,否则银河系就会飞散开来。类似地,我们观测到的星系团的质量也不足以阻止它们飞散开来,因此同样有必要存在暗物质。当然,暗物质并非影子膜的必要证据,它可以仅仅是某些难以观测的物质形态,例如超重弱作用粒子(WIMP),或者棕矮星——那些温度低得根本不足以使氢燃烧的小质量恒星。

因为引力可以在我们所在的膜与影子膜之间传播,在我们所在的膜上的两个相邻客体之间的引力应该比囿于膜上的电力随距离衰减得更快。我们可以借助剑桥的卡文迪许勋爵发明的装置,在

实验室里测量引力的短距离行为。迄今为止，我们并未发现任何引力与电力的差异，表明膜间距不会超过 1 厘米。以天文学的标准，这是微小的，但和其他额外维度的上限相比却是巨大的。为了检验这一膜世界的图景，新的短距离引力测量还在进行。

除了终止于第二个膜的额外维度的可能性以外，另一种可能是额外维度是无限大，但像马鞍一样高度卷曲着。Lisa Randall（里萨·阮朵）和 Raman Sundrum（拉曼·桑卓姆）证明这种曲率表现得很像第二块膜。膜上物体的引力影响将被禁闭在膜近旁而不会传播到额外维度的无穷远处。类似于影子膜模型，引力场有正确的长距离衰减行为，用以解释行星轨道和实验室的引力测量。但引力会在短距离上变化得更快。但是，Randall - Sundrum 模型与影子膜模型有一个重要的区别。在引力影响下，运动的物体会产生引力波——以光速传播的时空曲率的涟漪。类似光的电磁波，引力波应该携带能量，这是已经被脉冲双星观测证实的预言。

如果我们真的生活在有额外维度的时空的膜上，膜上物体的运动产生的引力波会传入其他维度。若是存在第二个影子膜，它们会被反射回来并被束缚在两个膜之间。另一方面，如果只有一个膜，时空恰如 Randall - Sundrum 模型所言的那样无限伸展，引力波就可以完全逃逸走，带走我们膜世界中的能量。这看似违反了物理学中的一条基本原理——能量守恒定律，即能量的总和保持不变。然而，这种违反是缘于我们将考察发生了什么的目光局限在膜上。一个能看到额外维度的天使将明了能量还是一样的，只是有些传播出去而已。

只有短引力波可以逃逸出膜，而惟一的发射可观数量的短引力波的源可能只有黑洞。膜上的黑洞可以扩张成一个在额外维度中的黑洞。如果黑洞比较小，它几乎就是圆形的，那样它在额外维度中伸展的尺度与在膜上的大小相似。另一方面，膜上的大黑洞会扩张成一个“薄饼型”黑洞，它局限在膜的附近，其在额外维度中的厚度远小于在膜上的宽度。

大约三十年前，我发现黑洞并非纯黑的；它们就像是被加热的物体一样，可以发射所有种类的粒子和辐射。因为物质和电力被束缚在膜上，粒子和像光这样的辐射将沿着膜发射。然而黑洞也发射引力波。引力波不会囿于膜上，而是可以在额外维度中穿行。如果黑洞是薄饼型的大黑洞，引力波会停留在膜附近。这意味着黑洞会失去能量和质量，其速率恰好是在四维时空中人们对黑洞辐射所期望的那样。黑洞于是会缓慢蒸发，尺度缩小，直至小到它辐射的引力波开始自由地逃逸到额外维度中去。对于在膜上的人，黑洞看起来在发射暗辐射——无法在膜上直接观测的辐射，其存在性可以从黑洞质量正在丢失的这一事实中推测出来。这也意味着蒸发着的黑洞最终的辐射爆发会表现得没有它实际上爆发的那么壮观。这可能是为什么我们还没有观测到伽玛射线暴的原因，这些辐射暴可以被归咎于垂死的黑洞，尽管其他的更普通的解释可以是没有多少低质量的黑洞，低到可以在现今的宇宙年龄中蒸发。那是一个遗憾，因为如果一个低质量黑洞被找到的话，我就可以得诺贝尔奖了。

膜世界是如何起源的？影子膜模型的一个版本被叫做 Ekpyrotic 宇宙。Ekpyrotic 这个冗长的字眼来自希腊文，意为运动和变化。在 Ekpyrotic 图景下，我们所在的膜与影子膜被假想成是永远存在的。在无穷远的过去，它们是静止存在的。膜之间一个假想的轻微的力使得他们相向运动，于是膜会碰撞并彼此穿越对方，产生大量的热和辐射。这个碰撞被认为是宇宙的大爆炸——宇宙热膨胀相的起点。至于膜是否能够如此碰撞并如此行事，还存在很多未解决的技术细节。但是，即令膜真的具有所要求的属性，Ekpyrotic 图景在我看来还是不能令人满意的。该图景要求膜发韧于无限过去的一个难以置信的精细调节的位形。膜的初始条件的任何细微变化都将导致异常凌乱的碰撞，从而造成一个高度不规则的膨胀的宇宙，这与我们观测到的几乎平直光滑的宇宙完全不同。如果真要准确地指定初始条件，那么膜起自基态，即能量最低态，是自然的。然而，如果存在能量最低态，膜就理应驻留于其中而不会有什么碰撞。按照上面的图景，膜来自一个不得不人为放置的不稳定状态。放置这一精密的初始条件的上帝之手必须异常稳定。不过如果这可以做到的话，那么也可以以任何其他的方式启动膜。

依我看，对膜世界起源的一个更吸引人的诠释也许是由真空涨落引起的自发创生。膜的创生

