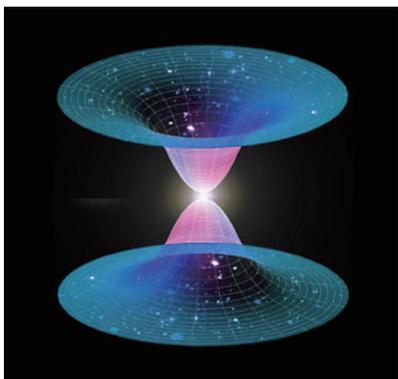


## 圈量子引力追踪黑洞演化

(中国原子能科学研究院 周书华 编译自 Carlo Rovelli, *Physics*, December 10, 2018)

黑洞是用多种方法观察到的数量众多的奇异天体。我们看到物质落入黑洞，但是不知道物质到达黑洞中心时发生了什么。

宾夕法尼亚州立大学 Abhay Ashtekar 和 Javier Olmedo 以及路易斯安那州立大学 Parampreet Singh 指出，圈量子引力——对引力进行量子力学描述的一种理论——预言时空继续穿过黑洞的中心，进入一个未来新区域，该区域具有白洞内部的几何结构。白洞是黑洞的时间反演。在白洞中物质只能向外运动。我们对于黑洞物理的诸多方面一无所知，这是因为在黑洞的中心及黑洞的未来量子现象占主导。传统的广义相对论认为黑洞永远存在，黑洞的中心是一个时空终结的“奇点”。这预言没有考虑量子效应。为计入量子效应，需要一个关于引力的量子理论，可对黑洞的量子行为进行计算。圈量子引力理论就是这



艺术家演示黑洞到白洞的过渡。用圈量子引力，Ashtekar, Olmedo 和 Singh 预言黑洞演变成白洞

样一种理论。

在过去的几年中，一些研究组应用圈量子引力探索了黑洞的演化。努力建立一个关于黑洞到白洞过渡情况的令人信服的图像：在黑洞的中心，空间和时间不终结于一个奇点，而是继续穿过一个短的过渡区，那里爱因斯坦方程因量子效应而不能成立。过渡区之后空间和时间出现在白洞内部的结构中。随着黑洞中心演化，它的外表面(视界)由于发射辐射而缓慢地收缩，这种收缩直达到普朗克长度(量子引力的特征尺度)或略早一些时，在视界处发生量子跃迁(量子隧穿)将黑洞的视界转变成白洞的视界。由于特殊的扭曲的相对论几何，中心形成的白洞内部与白洞的视界一起构成白洞。

被陷入的物质不会从黑洞中出来。收缩达到最大值时的结构，将黑洞与白洞分开，称作普朗克星。由于相对论时间的巨大畸变，从洞的内部测量时，发生这一过程的时间可以很短(几微秒)，而从洞的外面测量时，会很长(数百万年)。这是个十分诱人的图像，它消除了黑洞中心的奇点，并且解决了落入黑洞的能量和信息消失的悖论。至今，这种黑洞过渡到白洞的图像不是理论推导出来的，而只是推测，将随机的修正加入爱因斯坦的广义相对论方程得到的。

Ashtekar, Olmedo 和 Singh 指出这一图像的关键要素，在黑洞中

心的过渡，是通过对完全的圈量子引力方程的近似得到的——与以前为解决大爆炸奇异性所用的方法类似。

Ashtekar—Olmedo—Singh 模型只研究黑洞中心的过渡。为使图像完整，还需要计算在视界处的隧穿。这些问题的解决将实现对黑洞的量子物理完全的理解。

有些模型表明所观察到的一些天体物理现象可能与黑洞到白洞的过渡有关。其中包括快速无线电爆发和某些高能宇宙射线。两者都可能是被陷入早期宇宙产生的黑洞中，然后又被黑洞到白洞过渡所释放出来的物质和光子产生的。目前，天体物理数据的统计性不足以确定所观察到的快速无线电爆发和宇宙射线能否证实这种假设。另一个有趣的可能性是黑洞到白洞过渡产生的小洞可能是稳定的，在这种情况下，这些“幸存者”可能是暗物质的一部分。我们对黑洞的量子物理的了解仅是开始。Ashtekar—Olmedo—Singh 的结果给了我们很确定的一点：圈量子引力预言黑洞的内部继续过渡到白洞。该领域进展的重要性超出对黑洞的理解。黑洞的中心是我们目前由爱因斯坦的广义相对论所给出的关于时空理论失败的地方。弄清楚这一区域的理论将意味着理解量子空间和量子时间。

更多内容详见 *Phys. Rev. Lett.*, 2018, 121: 241301 和 *Phys. Rev. D*, 2018, 98: 126003。