

---

# 中国科大首次量子模拟马约拉纳零模的非阿贝尔几何相位

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/2624.html>

**本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！**

中国科大首次量子模拟马约拉纳零模的非阿贝尔几何相位。中国科学院院士、中国科学技术大学教授郭光灿团队在量子模拟研究中取得新进展。该团队李传锋、许金时、韩永建等人与其合作者利用自主研发的光学量子模拟器研究马约拉纳零模的非阿贝尔交换特性，实现了具有拓扑特性的非阿贝尔几何相位，并演示了拓扑量子计算的普适量子门操作。该成果于10月19日在线发表在国际期刊《科学-进展》上。

马约拉纳零模是近年来物理学的研究热点。常见的玻色子和费米子具有阿贝尔统计特性，而马约拉纳零模的特异之处在于它具有非阿贝尔统计特性，可以用来实现拓扑量子计算。问题是怎么才能得到马约拉纳零模呢？很幸运，理论物理学家给出了答案：在一条Kitaev链的两端就蕴含着两个马约拉纳零模。通过测量两条Kitaev链上的四个马约拉纳零模交换时所产生的几何位相(Berry相位)，就可以直接反映它们的非阿贝尔交换特性。而几何相位描述了量子系统经过绝热循环演化后初态与末态之间的相位差，在基础物理研究和实际应用中均具有重要价值。

李传锋研究组在前期量子模拟单个Kitaev链上的两个马约拉纳零模的交换操作[Nature Communications 7,13194 (2016)]基础上，进一步提升自主研发的光学量子模拟器的性能，实现了对两条Kitaev链上四个马约拉纳零模交换操作的量子模拟。通过Jordan-Wigner变换，将支持四个马约拉纳零模的费米系统映射到一个六粒子的自旋系统，并利用光子的空间模式对自旋系统进行编码。而不同马约拉纳零模之间的交换则通过一系列耗散过程实现。这些耗散过程提供了对应自旋之间的有效相互作用。两条Kitaev链上的四个马约拉纳零模可以编码一个量子比特。利用交换过程，研究组成功地模拟了编码比特上具有拓扑保护特性的Hadamard门和相位门。并且这两个量子门是非对易的，从而验证了几何相位的非阿贝尔特性。

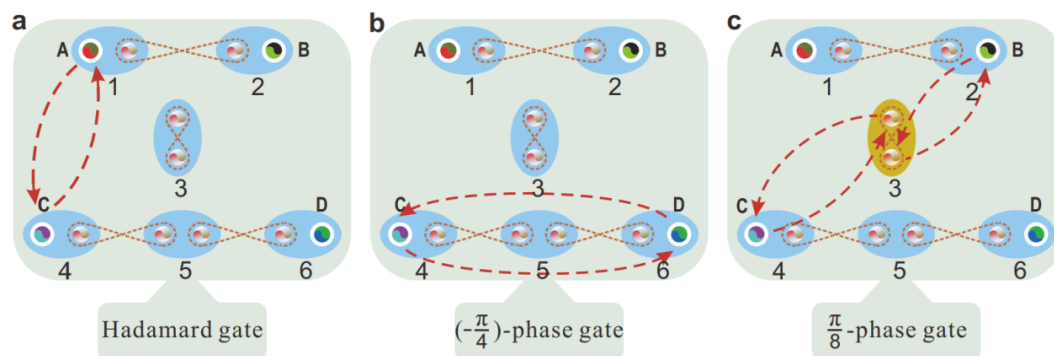
马约拉纳零模系统的交换操作并不能实现普适的拓扑量子计算。为实现普适量子门操作，研究组通过将两个马约拉纳零模移动到同一位置并施加适当的实时演化，实现了相位门。Hadamard门和相位门组成了完备的单比特门操作。在通过交换实现的Hadamard门和相位门中，两个马约拉纳零模总是处于不同的位置，它们对局域的扰动是免疫的，具有拓扑保护特性。而在相位门中两个马约拉纳零模会处于同一位置，对此处的局域扰动无法免疫，因而，它不具有拓扑保护性(原则上，此处的局域扰动可通过纠错解决，不会破坏拓扑量子计算过程)。研究组通过在不同的位置施加相位噪声和反转噪声，实验验证了这一重要特性。实验搭建的16模式的空间级联干涉仪有很好的相位稳定性，各类门操作的保真度均大于92%。

这项工作展示了马约拉纳零模的基本性质，验证了基于马约拉纳零模的拓扑量子计算的基本原理

, 并进一步拓展了光学量子模拟器的模拟能力。

该论文共同第一作者是教授许金时和特任副研究员孙凯。

上述研究得到科技部、国家基金委、中科院、安徽省和量子信息与量子科技前沿协同创新中心的支持。



图：两条Kitaev链所支持的四个马约拉纳零模(A,B, C, D)的交换示意图。a). A和C逆时针交换实现Hadamard门;b). C和D逆时针交换实现 $-\pi/4$ 相位门;c). B和C交换到同一位置3经过适当的实时演化再交换回去实现 $\pi/8$ 相位门。

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发