
精密测量院等演示非循环非绝热的几何量子逻辑门

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14820.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！

近日，中国科学院精密测量科学与技术创新研究院研究员冯芒课题组与郑州大学、广州中国科学院工业技术研究院合作，利用超冷离子实验平台，设计和完成了基于非循环非绝热的几何量子逻辑门实验，在单个 40Ca^+ 离子层面上，首次高精度地演示了这种普适的量子逻辑门同时具备的容错和快捷的优良特性。相关研究成果发表在《物理评论快报》上。

量子计算机是利用量子态的受控演化实现逻辑运算以及信息处理和存储的一种全新概念的物理装置。建造量子计算机的技术要求富有挑战性，需要精准操控成百上千个量子比特，较长时间地保持系统的量子特性，以及量子体系与经典体系的完美协作。迄今为止，世界上尚未研制出通用型的量子计算机。然而，世界各地的实验室投入热情追寻这个梦想。提高量子逻辑门操作的精度和速度是研制量子计算机的主攻方向之一，而这两者却相互牵制，速度提高导致精度下降，反之亦然。

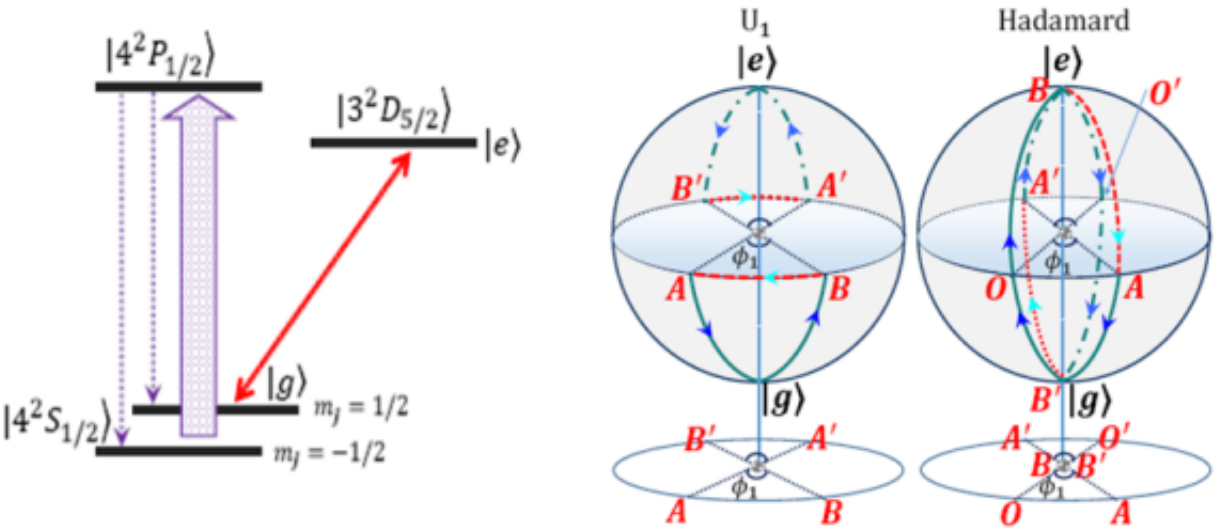
利用几何相位完成的量子操作具有抵御局域噪声的容错功能，多年来备受量子计算机研制人员的关注。然而，这种几何量子操作需要绝热地（即缓慢地）完成，且门操作时间固定，不会因为相位的不同而缩短，因此在实际运用中受到耗散效应的较大影响。近年研究已逐步突破绝热条件，使几何量子计算能以非绝热的方式完成。2020年，理论研究成果表明，若能精确控制量子参数沿着布洛赫球面的测地线演化，基于非循环几何相位的原则，在不需要完成一个完整循环的条件下便能以非绝热的方式实现容错的量子逻辑门，由此进一步提升操作速度，并能抑制退相干效应的不良影响。由于这种情况下的几何量子逻辑操作以一种非循环的方式完成，因此针对某个具体的逻辑门，其所需时间不是固定的，而是与具体的逻辑门有关，因而有可能通过精巧的方案设计，实现容错性强且普适的快速量子逻辑门。

离子阱系统是目前最有希望建造量子计算机的候选者之一。冯芒科研团队致力于发展基于 40Ca^+ 离子的边带冷却、精确操控和精密测量等关键技术。在前期工作的基础上，科研团队设计了两个常用的单比特逻辑门的普适型量子操作，针对离子阱体系中三种主要的实验误差，实验比较了非循环非绝热几何量子操作（NNGQC）、常规的非绝热几何量子操作（NGQC）和常规动力学量子操作（DQC）的执行效果。实验结果显示，在三种主要误差存在的情况下，NNGQC可以节约操作时间，且保真度明显高于其他两种门操作，这种快捷且容错的特点在连续多次的操作中展现出更显著的效果。这种NNGQC操作能够直接推广到两个量子比特的逻辑门操作中，意味着NNGQC将来或真正运用于普适的量子计算操作。

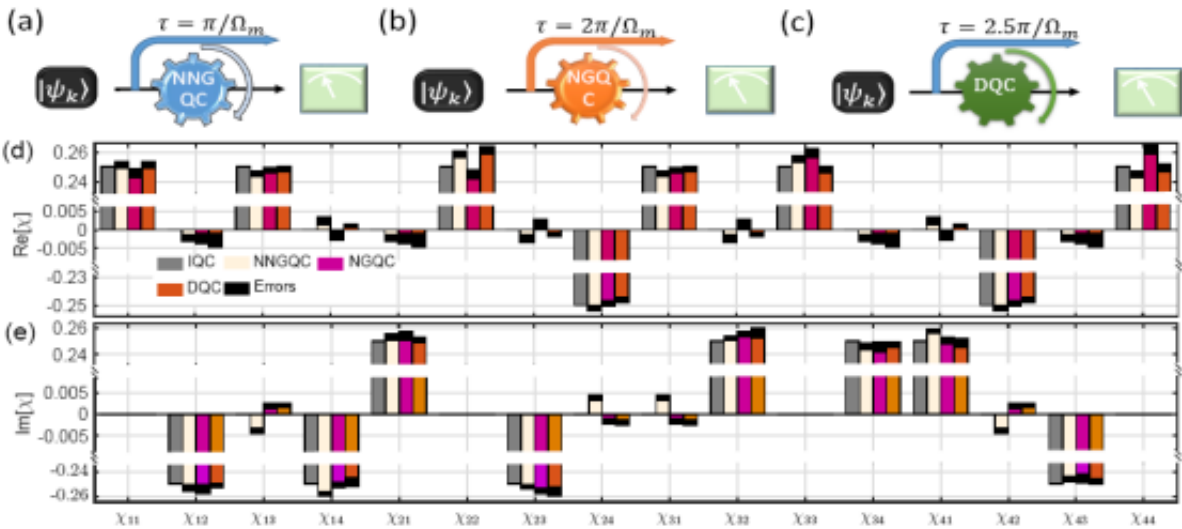
该研究有助于加深对几何位相和几何量子操控的理解，也将进一步推动量子信息科学的发展。研究中展示的同时提升量子逻辑操作的速度和精度的方案，可为量子计算机的研制提供新思路。研究工作得到国家重点研发计划“基于原子、离子与光子的少体关联精密测量”、广东省重点领域

研发计划重大专项项目和国家自然科学基金的资助。

[论文链接](#)



基于 $^{40}\text{Ca}^+$ 离子的NNGQC实验原理图。左图为量子比特的逻辑操控示意图；右图是 U_1 逻辑门和Hadamard逻辑门的几何逻辑操作所对应的量子参数态演化示意图



NNGQC、NGQC和DQC分别执行 U_1 逻辑门的实验结果比较。上图列出三个门操作的时间对比为1: 2: 2.5；下图比较三个门操作下的量子态演化和误差情况，其中IQC为当作参考的理想门操作

研究团队单位：精密测量科学与技术创新研究院

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

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