研究提出并实验验证基于测量的量子计算的资源理论框架

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/36146.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！

研究提出并实验验证基于测量的量子计算的资源理论框架

。近日，中国科学技术大学郭光灿院士团队李传锋、陈耕等，联合复旦大学、意大利那不勒斯费德里克二世大学的科研人员，在基于测量的量子计算魔术资源理论研究方面取得进展。团队提出了“注入魔术资源”和“潜在魔术资源”两个重要概念，如同为量子计算过程配备了精确的“标尺”和标准的“量杯”，揭示了量子计算优势的积累过程。这一理论为探讨和量化量子计算的计算能力提供了新视角，并为设计更高效的量子算法指明了方向。

量子计算之所以能够超越经典计算，其核心优势之一在于其能够利用独特的“魔术”资源。计算过程如何实现“魔术”资源以达到最大量子优势，是量子计算领域的核心问题。基于测量的量子计算是颇具潜力的计算范式，从一个本身不具备“魔术”的纠缠图态出发，通过一系列“非泡利测量”来执行运算。这提示，测量过程是注入“魔术”的关键。但是，这些测量如何一步步注入“魔术”，以及不同的纠缠结构能够承载多少“魔术”，尚不清楚。

研究团队建立了新的理论框架来解决上述问题。团队引入生动的“倒水入杯”模型，将量子优势的积累过程形象化——非泡利测量是“水”，测量过程如同向系统中“倒水”，代表为实现某个量子算法所必须投入的“注入魔术资源”。量子系统本身的纠缠结构，像一个“杯子”，其容量决定系统能够容纳和有效利用的“魔术”上限，被称为“潜在魔术资源”。一个结构更优、维度更高的纠缠图态，就像一个更大的杯子，拥有更大的“潜在魔术资源”。

实际的量子优势是“杯中水”：最终留在杯中的水，即“存留魔术资源”，才是算法最终获得的、真正有效的量子优势。如果注入的“魔术”（水）超过“杯子”的容量，多余的部分就会溢出，造成资源浪费。

这一框架表明，要获得强大的量子计算能力，高效的测量（源源不断的水）和优质的纠缠结构（足够大的杯子）缺一不可。理论证明，高维度的纠缠图态（更大的杯子），能够支持超线性乃至指数级的量子优势，为设计更高效的量子算法指明了方向。

为了验证这一理论，团队在高品质的四光子量子计算平台上进行实验演示。实验结果显示，在生成关键量子态的过程中，“注入魔术”和“存留魔术”如何随着每一步测量而变化。实验观测发现，当“注入魔术资源”总量超过由纠缠结构决定的“潜在魔术资源”上限时，“魔术”资源便会被浪费。这为“倒水入杯”模型提供了实验证据。同时，实验观察发现，使用基于测量的量子

计算，“ 魔术 ”资源浪费小，证明基于测量的量子计算是节约资源的量子计算平台。

上述工作在理论和实验上揭示了量子优势在计算过程中的动态积累机制，为未来优化量子算法、减少资源浪费、推进容错量子计算的发展，提供了理论工具和实验指导。

10月16日，相关研究成果发表在《物理评论快报》（*Physical Review Letters*）上。研究工作得到科学技术部和国家自然科学基金委员会等的支持。

论文链接



示意图：采用倒水入杯模型类比展示“ 注入魔术资源 ”、“ 潜在魔术资源 ”与“ 存留魔术资源 ”之间的关系

研究团队单位：中国科学技术大学

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转发