

“九章四号”问世

# 中国量子计算再破世界纪录

以前,世界上最快的超级计算机E1 Capitan求解高斯玻色采样问题需要超过 $10^{42}$ 年。如今,中国科学家最新研制成功的量子计算原型机,完成同样任务仅需25微秒。实现这一算力跨越的,是中国科学技术大学5月13日在国际权威学术期刊《自然》上发表的一项重磅成果——1024个量子压缩态输入、8176模式的可编程量子计算原型机“九章四号”。

由中国科学技术大学潘建伟、陆朝阳、张强、刘乃乐等组成的研究团队,联合济南量子技术研究院、山西大学、清华大学、上海人工智能实验室、崂山实验室、国家并行计算机工程技术研究中心等单位,成功研制出这一原型机,首次操纵和探测高达3050个光子的量子态,再度刷新光量子信息技术世界纪录,成功建立了国际上最强的“量子计算优越性”。



“九章四号”量子计算原型机实拍图

## 算力跨越:25微秒对决 $10^{42}$ 年

量子计算利用量子叠加与纠缠特性,在特定问题上实现远超经典计算机的处理能力。与经典计算中比特只能处于“0”或“1”某一确定状态不同,量子比特可以同时处于“0”和“1”的叠加态。借助这一特性,量子计算机能够在同一时间并行处理大量计算路径,从而在特定问题上获得指数级的计算加速。

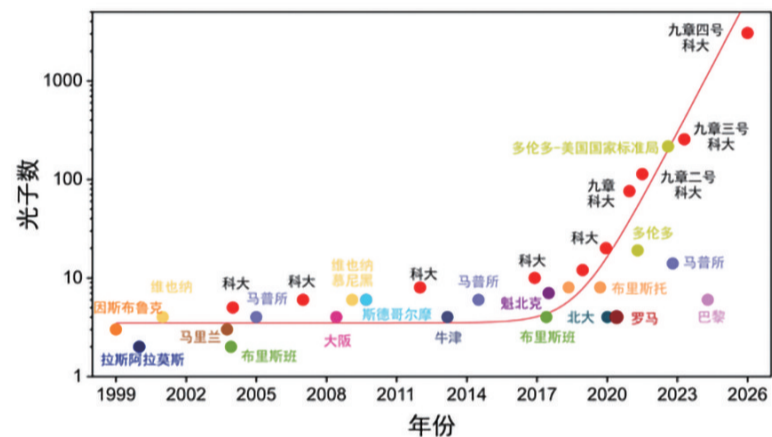
“量子计算优越性”是衡量量子计算机算力水平的关键标尺,指的是量子计算机在某个明确定义的数学问题上超越现有最强超级计算机。

它不仅验证了量子力学的计算潜能,更为后续容错量子计算机的研制积累必要的可扩展调控技术。作为量子计算具备应用价值的前提条件,这一指标也被视为当前一个量子计算研究实力的直接体现。

“九章四号”所执行的高斯玻色采样任务,即用来展示量子计算优越性的重要模型,类似计算无数粒子经过复杂路径后的分布概率,这类问题对普通计算机来说难度极大。在“九章四号”的研制工作中,我国科研团队大

幅提升了系统效率,让量子计算的规模和复杂度实现重大飞跃。据介绍,“九章四号”生成一个样本仅需25微秒,而使用目前世界上最强大的超级计算机E1 Capitan和当前最好的经典算法,需要超过 $10^{42}$ 年的时间,量子优势比达到 $10^{34}$ 量级。

高斯玻色采样不仅用于展示量子计算优越性,还可用于生成容错量子计算所需的玻色纠错码及大规模量子纠缠簇态,为未来通用量子计算机的构建提供重要支撑。



光子数国际竞争态势

## 迭代领跑:积淀技术优势赋能量子未来

“九章四号”的问世并非一蹴而就,而是中国在光量子计算领域长期积累、持续迭代的成果。

早在2019年,谷歌联合加州大学推出53比特超导处理器“悬铃木”,率先宣称实现优越性,但中国科学技术大学和上海人工智能实验室的科学家随后通过创新经典算法,将同一任务在超算上的求解时间从一万年压缩至数十秒,同时能耗大幅减少,全面打破了该宣称,重新定义了“量子计算优越性”的边界。

2020年,中国科学技术大学团队成功研制76光子的“九章”光子计算原型机,在国际上首次在光学体系中实现量子计算优越性,量子优势比为 $10^5$ ,同时解决了谷歌超导方案中依赖样本数量的问题。

2021年,中国科大团队将光子数提升至113,推出可相位编程的“九章二号”,量子优势比达到 $10^{10}$ ;同年,56比特超导原型机“祖冲之二号”也宣告成功,使得中国成为全球唯一在光量子计算与超导量子计算两条技术路线上均达到量子计算优越性的国家。2023年,“九章三号”再将光子数刷新至255,量子优势比进一步提升到 $10^{16}$ ,持续保持领先。

在国际同领域竞争中,加拿大Xanadu公司联合美国国家标准与技

术研究院,采用与“九章”相同的高斯玻色采样技术,于2022年发布了216光子的“北极光”处理器,成为国际上第二个实现光学体系量子计算优越性的团队。但从操控规模和技术指标来看,中国在光量子计算领域仍保持着明显优势。

从76光子到3050光子,从 $10^5$ 倍到 $10^{16}$ 倍,历经数次迭代,中国在光量子计算技术路线上持续自我超越。“九章四号”成果代表了低损耗光子处理器在规模和复杂度上的重大飞跃,进一步巩固了我国在光量子计算领域的世界领先地位。

目前“九章”系列仍是针对高斯玻色采样等特定问题的专用量子模拟机。但距离可解决通用问题、具备容错能力的通用量子计算机仍有较长发展路程。实现通用量子计算,需完成上百万个量子比特的操纵,并同时具备纠错能力,这一目标仍需在现有量子计算原型机基础上持续迭代、逐步攻关。

此次“九章四号”在规模与低损耗方面的突破,为构建“万亿量子模式的三维簇态”和未来的“容错光子计算硬件”提供了更多可能性,也为最终实现通用量子计算奠定了坚实基础。

## 技术破局:时空混合编码攻克“光子损耗”

光量子计算走向更大规模,面临一个核心瓶颈——光子损耗。在开发大规模量子处理器的过程中,编码线路日益庞大复杂,光子极易在传播过程中丢失,从而大幅削弱计算能力。这一问题一直严重制约着光量子计算系统的可扩展性。

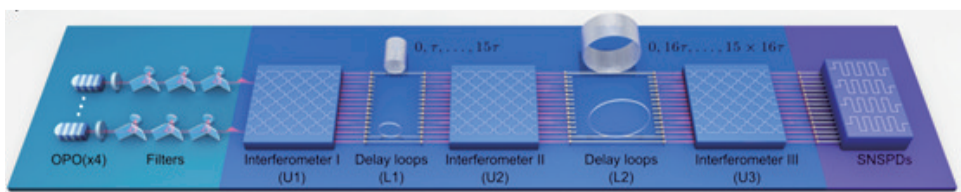
针对这一难题,研究团队此次实现了关键技术突破。中国科学技术大学教授陆朝阳表示,团队研发了高效率的光参量振荡器光源和时空混合编码干涉仪,将1024个高效率压缩态光场集成为一个时空混合编码的

8176模式线路中。其中,“1024个量子压缩态”可以理解为量子计算机运行所需的高质量量子光源,“8176模式”则是光子在计算网络中可以穿梭的路径总数。该架构让光子在时间和空间两个维度上同时发生干涉,实现了连接度的立方级扩展,使得系统能够在 $10^{260}$ 维的巨大希尔伯特空间中进行采样。

这一创新使研究团队获得了对高达3050个光子的操纵和探测能力。与2023年“九章三号”实现的255个光子相比,此次操纵规模提升了超过10倍,标志着人类操

控微观量子世界的规模出现了数量级的跨越。在系统效率方面,该原型机实现了92%的光源效率和51%的系统总效率,为低损耗光子处理器的发展树立了新标杆。

团队将实验结果与当前所有最先进的经典模拟方法进行了对比基准测试,特别是针对利用光子损耗而设计的矩阵乘积态算法。结果表明,“九章四号”在处理高斯玻色采样任务时的算力优势是压倒性的,进一步验证了量子计算在特定问题上的绝对领先地位。



“九章四号”原型机示意图

文字整合报道:周帅

文图素材来源:中国科学技术大学、新华社、人民日报、央视新闻、央广网