

立方级算力突破， “九章四号”走出量子计算新赛道

近日，中国科学技术大学潘建伟、陆朝阳团队研制的“九章四号”光量子计算原型机实现重要突破，成功完成3050光子量级的高斯玻色采样任务，在大规模低损耗光量子干涉网络领域取得世界级进展。这一成果为光量子计算的规模化、可扩展发展开辟了全新路径，再度巩固了我国在该领域的国际领先地位。

同为量子计算领域的探索，“九章”系列为何选择光子路线？光子计算可在室温环境下运行，但长期受困于哪些技术难题？“九章四号”又凭借什么“独门妙招”，实现了算力的跨越式提升？

光量子路线为何是量子赛道的“重要一极”

当前全球量子计算领域形成了超导、离子阱、中性原子、光子四条主流技术路线，它们依托不同物理体系，发展方向差异显著。其中，超导路线需在极低温环境下运行，离子阱路线精度高但难以扩展，中性原子路线擅长构建大规模阵列，而光子路线则拥有不可替代的独特优势。

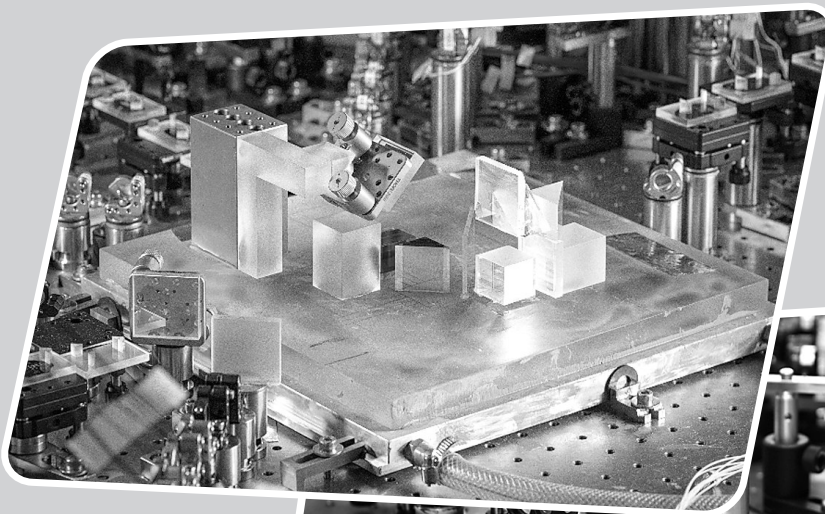
第一，可在室温下运行，无需依赖“极寒冰箱”。超导量子计算机必须在接近绝对零度的环境中工作，离不开庞大制冷设备；光子系统却能在常温下稳定运行，在部署、组网与工程化方面更具优势。

第二，光子的“抗干扰”能力更强。光子与环境的耦合作用较弱，具有低退相干特性，是天然的“飞行量子比特”，尤其适合应用于量子通信、量子网络以及长距离信息分发。

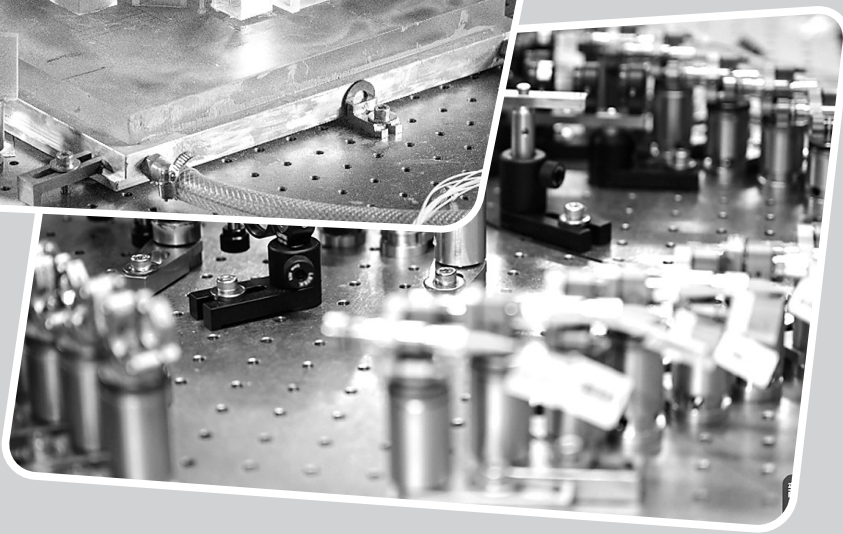
第三，天然适配未来量子互联网。光子是现代通信的核心载体，与量子中继、分布式量子节点高度兼容，是构建量子互联网的理想选择。

东南大学薛鹏教授指出，“九章”系列采用连续变量光子量子计算路线，在大规模量子态生成、高斯玻色采样等专用计算任务上优势突出。但这条路线也存在“致命短板”：光子之间缺乏强相互作用，难以实现确定性双量子比特逻辑门，而其中最棘手的问题，是光子损耗。

光子在传播、耦合、分束、探测的每一步都可能被吸收或散射。系统规模越大，损耗问题就越严重，有效光子干涉事件会随系统规模呈指数级下降，这正是长期制约光子量子计算向大规模发展的核心瓶颈。



4月10日拍摄的“九章四号”量子计算原型机局部。



高效率光源+时空混合编码，破解损耗难题

面对损耗困境，中科大科研团队并未局限于“更换更优镜片”的单一思路，而是提出了一套“源头优化+架构创新”的组合解决方案。

第一招：高效率光源，从起点减少损失。团队自主研发的高效率光参量振荡器(OPO)，单光源效率达到约92%，系统总效率提升至约51%，从光子产生的第一步就将“光子损耗”降至最低，为大规模干涉提供稳定的“量子燃料”。

第二招：时空混合编码，通过“时空复用”降低累积损耗。传统光子量子干涉网络仅依赖“空间光路”扩展规模，如同不断新建道路，器件越多损耗越大；而时空混合编码则同时利用空间与时间两个自由度。

安徽大学王坤坤教授举例说，空间好比道路，时间好比班次。同一套硬件可在不同时间窗口复用，配合光纤延迟环实现“时间缓存”，让光子在空间和时间维度均能产生干涉。无需大量增加器件，即可构建更高维度、更大规模的量子网络，

从根本上缓解累积损耗问题。

这两大技术协同发力，使“九章四号”成功实现1024个输入压缩态、8176个输出模式的大规模干涉，把光子事件规模推至3050光子量级。

这个“立方级扩展”究竟指什么？它并非简单让光子数量呈倍数或立方级增长，而是指光子有效模式间的联动与干涉配合能力，随着硬件设备的增加呈现立方级的跃升。

我们可以把量子计算中的光子模式比作一间教室里的学生，连接度则是学生之间互相交流、协同解题的能力。

在传统光子量子计算方案中，若想让更多学生实现高效交流、提升计算能力，只能不断往教室里增加学生和桌椅。每新增一组学生，交流能力仅线性增长；且学生与设备越多，彼此的干扰与损耗就越大，如同人挤在一起说话听不清，交流效率反而下降，算力提升因此受限，只能靠堆硬件勉强升级。

而“九章四号”的全新时空混合编码方案无需额外增加硬件、不必往“教室”里增加人，仅通过同一套硬件、同一批“学生”，在不同时间维度里重复利用与多次配合，就像一套桌椅、一群学生能在不同时间段反复开展多人联动交流，既不用增加硬件成本，也不会产生额外损耗，却能让光子间的联动配合复杂度与连接能力实现爆发式增长，以最少的硬件资源，达成了超高难度的量子连接。

以往光子量子计算提升算力只能一味增加光子器件，但器件本身的损耗与干扰问题始终无法彻底解决，导致算力提升遭遇天花板。如今“九章四号”无需攻克器件损耗难题，仅凭全新架构设计，就能让算力与计算规模实现跨越式增长。这不仅为光子量子计算的后续发展筑牢了关键技术根基，更为研发测量驱动型光子量子计算机、制备大规模三维簇态量子系统扫清了核心技术障碍。

从“演示性实验”迈向“可扩展系统”

“九章四号”的价值，不仅在于再次刷新光子数纪录，更在于突破了光子量子计算规模化的核心制约。它证明光子量子计算可在室温、低损耗、高连接度的架构下持续扩展规模；光子并非只能局限于小规模演示，而是能够向更复杂、更实用的专用量子计算与量子网络节点演进。

东南大学教授肖磊表示，未来量子计算将呈现异构生态：超导、离

子阱路线向通用量子计算深度探索，光子则在量子互联网、分布式计算及专用采样任务中具有不可替代性。我国已成为全球唯一在光子、超导两条主路线均实现量子优越性，并同步向容错与规模化阶段迈进的国家。

从“九章一号”到“九章四号”，中国光子量子计算稳步跨过一个又一个门槛：从验证量子优越性，到攻克损耗瓶颈，再到架构级创新。能用于药物研发、材料设

计、复杂优化、量子通信组网的实用型量子技术，正从实验室走向现实。

量子时代的大门，正被中国力量进一步推开。每一次迭代，都凝结着无数科研人的坚守与突破；每一项突破，都指向国之所需、民之所向。从微观光子到宏观产业，从理论构想至现实应用，中国量子科技正以稳健步伐，把科技蓝图变为发展实景，为强国建设、民族复兴点亮创新之光。

(据新华网)