



中国科学家实现“量子计算优越性”，取得里程碑式进展

量子计算原型机“九章”问世，超越谷歌“量子霸权”

《科学》杂志审稿人评价该工作是“一个最先进的实验”“一个重大成就”，也得到国际物理学界广泛认可和赞誉

本报讯（首席记者许琦敏）实现“量子计算优越性”（即“量子霸权”），中国科学家取得里程碑式进展——成功构建了 76 个光子的量子计算原型机“九章”，实现了具有实用前景的“高斯玻色取样”任务的快速求解。根据现有理论，其速度比目前最快的超级计算机快一百万亿倍，比去年谷歌发布的 53 个超导比特量子计算原型机“悬铃木”快一百亿倍。

今天凌晨，国际著名学术期刊《科学》杂志刊登了这一来自中国科学技术大学潘建伟、陆朝阳等研究团队的重磅成果。

量子计算机在原理上具有超快的并行计算能力。目前，量子计算原型机有望通过特定算法，在计算能力上实现相比于经典计算机的指数级提升，从而为解决一些具有重大社会和经济价值的问题，如密码破译、大数据优化、材料设计、药物分析等提供可能。

当前，研制量子计算机已成为世界科技前沿的最大挑战之一，也是欧美发达国家竞相角逐的焦点。潘建伟团队一直在光量子信息处理方面国际领先。2017 年，该团队构建了世界首台超越早期经典计算机（ENIAC）的光量子计算原型机。2019 年，团队进一步研制了国际最高性能单光子光源，输出了复杂度相当于 48 个量子比特的希尔伯特态空间，已逼近“量子计算优越性”。

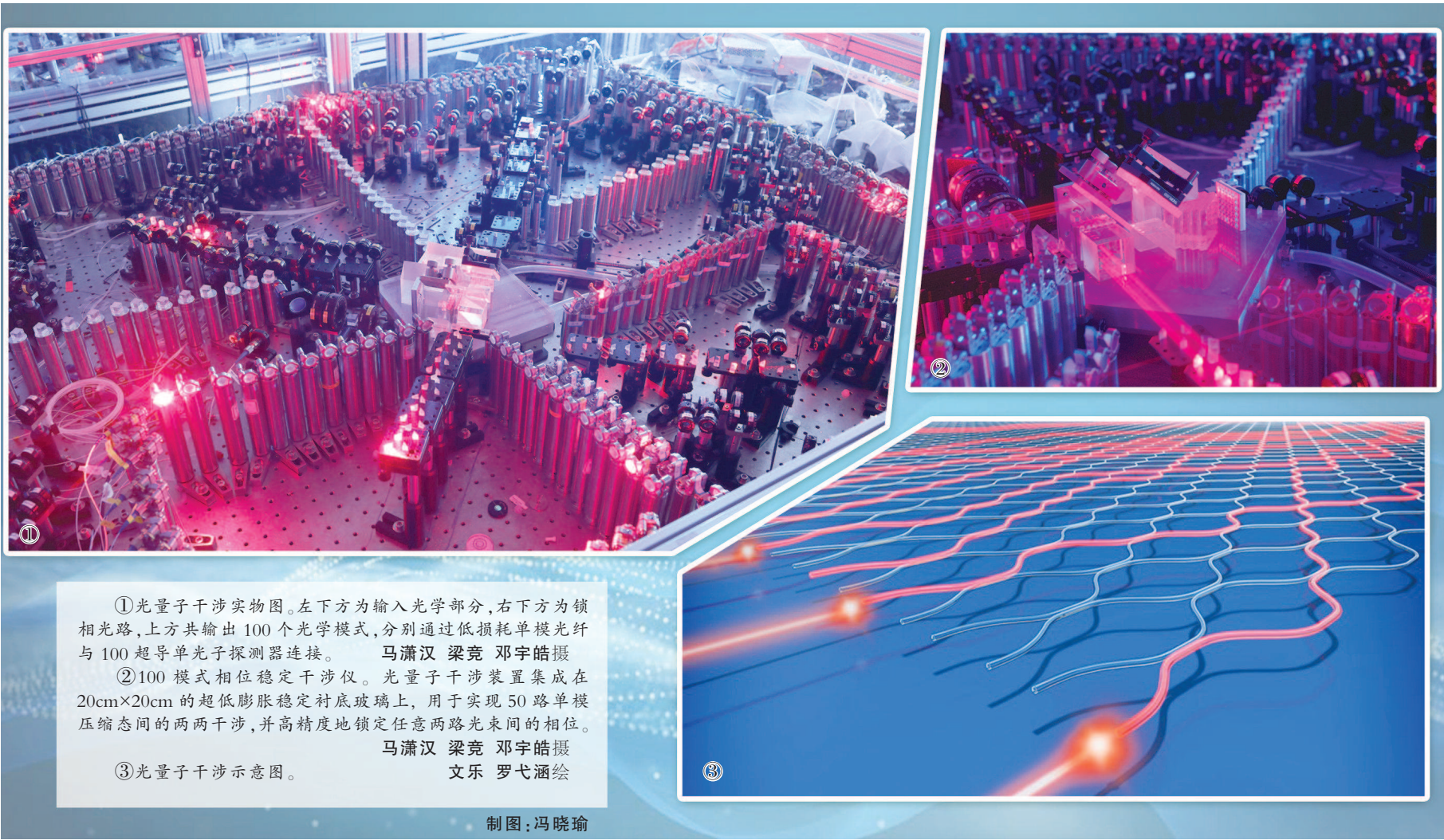
近年来，潘建伟团队联合中科院上海微系统与信息技术研究所、国家并行计算机工程技术研究中心，通过自主研制的同时具备高效率、高全同性、极高亮度和大规模扩展能力的量子光源，同时满足相位稳定、全连通随机矩阵、波包重合度优于 99.5%、通过率优于 98% 的 100 模式干涉线路，相对光程 10⁻⁹ 以内的锁相精度，高效率 100 通道超导纳米线单光子探测器，成功构建了 76 个光子 100 模式的高斯玻色取样量子计算原型机“九章”，输出量子态空间规模达到 1030——取名“九章”是为了纪念中国古代最早的数学专著《九章算术》。

根据目前最优的经典算法，“九章”对于处理高斯玻色取样的速度，比目前世界排名第一的超级计算机日本“富岳”快一百万亿倍，即“九章”一分钟完成的任务，“富岳”需要算一亿年。而且，“九章”还克服了谷歌 53 比特随机线路取样实验中量子优越性依赖于样本数量的漏洞。

该成果牢固确立了我国在国际量子计算研究中的第一方阵地地位，为未来实现可解决具有重大实用价值问题的规模化量子模拟机奠定了技术基础。《科学》杂志审稿人评价该工作是“一个最先进的实验”“一个重大成就”。未来，这项工作预计还将有提升空间，并能激发更多经典算法模拟方面的工作。

该工作得到国际物理学界的广泛认可和赞誉。美国物理学会会士、维也纳大学教授飞利浦·沃尔特表示，潘建伟、陆朝阳团队在实验中拿到了目前最强经典计算机万亿年才能给出的计算结果，为量子计算机的超强能力给出了强有力证明。英国物理学会托马斯·杨奖章获得者、英国剑桥大学教授梅特·阿塔图尔克说：“通过这项工作，我们进入了量子技术应用的时代，与传统方法相比，我们取得了可触及的优越性。”奥地利科学院院长、沃尔夫奖得主、美国科学院院士安东·塞林格称赞这项工作成果“非常重要”，并预测很有可能有一日量子计算机会被广泛使用，甚至每个人都可以使用。

据悉，这项工作得到了中国科学院、安徽省、科技部、上海市和国家自然科学基金委的支持。



①光量子干涉实物图。左下方为输入光学部分，右下方为锁相光路，上方共输出 100 个光学模式，分别通过低损耗单模光纤与 100 超导单光子探测器连接。马潇汉 梁竞 邓宇皓摄
②100 模式相位稳定干涉仪。光量子干涉装置集成在 20cm×20cm 的超低膨胀稳定衬底玻璃上，用于实现 50 路单模压缩态间的两两干涉，并高精度地锁定任意两路光束间的相位。马潇汉 梁竞 邓宇皓摄
③光量子干涉示意图。文乐 罗弋涵绘

制图/冯晓瑜

快评

构筑发展新优势，唯有不断超越

许琦敏

今天，在竞争激烈的量子科技前沿，中国又树立起了一块举世瞩目的里程碑。潘建伟团队以 76 个光子的量子计算原型机“九章”，超越谷歌的“量子霸权”，牢固确立了我国在国际量子计算研究中的第一方阵地地位。

这是一个杰出的实验，它彻底证明了量子计算机的算力是经典计算机所望尘莫及的；这是一个真正的“英雄”实验，它将实验所涉及的各方面技术推进到远超从前的水平；这是一个量子科学家们梦寐以求

的实验，最终，中国科学家让梦想走进了现实。

此刻，收获来自全球同行的盛赞是幸福的。然而，就在一年多前，潘建伟和陆朝阳的团队面临着巨大压力：尽管相关工作已经逼近“量子计算优越性”，却被谷歌夺走了“量子称霸”的第一。没有选择放弃，更没有轻易跟风，他们以更加完美而出色的工作，重新抢占了量子计算领域的制高点。

前沿科技的竞争从来都是无比激烈，

尤其在具有重大科学意义和战略价值的量子科技领域更是如此。

近年来，量子科技发展突飞猛进，已成为新一轮科技革命和产业变革的前沿领域，也是发达国家激烈竞争的一大焦点。然而，纵观量子科技发展的历史不难发现，第二次量子革命所带来的社会与产业变革动力，才刚刚开始启动。正如潘建伟院士所言，所有领先都只是暂时的，实现“量子计算优越性”同样不会一蹴而就。

当今世界正在经历百年未有之大变局，科技创新是其中一个关键变量。要牢牢把握科技创新这个牛鼻子，就必须坚定不移走自主创新道路，坚定信心、埋头苦干，突破关键核心技术；就必须深入分析研判科技发展大势，加强战略布局。

“九章”的诞生，无疑再一次给予我们启示：抢占科技发展国际竞争制高点，构筑发展新优势，从来没有一蹴而就的成功，只有脚踏实地的不断超越。

专家访谈

潘建伟院士、陆朝阳教授接受本报专访——

中国“九章”何以实现后来居上

■本报首席记者 许琦敏

继谷歌去年 10 月宣布“量子称霸”之后，今天，中国在世界上宣布实现“量子计算优越性”里程碑，以 76 个光子、不依赖于样本数量的更强姿态，登上《科学》杂志。

76 个光子，比谷歌“悬铃木”快一百亿倍，比最强的超级计算机快一百万亿倍——“九章”量子计算原型机的诞生，是否意味着我国在“量子争霸”上已经取得胜利？人类是否马上就要进入量子计算的时代了？我们可以用它来做些什么？

在“九章”的诞生地——中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心，中科院院士潘建伟和陆朝阳教授以论文通讯作者的身份，接受了本报记者专访。

76 个光子有多快？能干嘛？“自主研发”成后来居上之关键

76 个光子 100 模式的“九章”，其算力究竟有多强？先来看一组数据：在室温条件下运行（除光子探测部分需 4K 低温），计算玻色采样问题，“九章”处理 5000 万个样本只需 200 秒，超级计算机需要 6 亿年；处理 100 亿个样本，“九章”只需 10 小时，超级计算机需要 1200 亿年——而宇宙诞生至今不过约 137 亿年。

由于采用超导体系，谷歌 53 个量子比特的“悬铃木”必须全程在-273.12℃(30mK)的超低温环境下运行，而且在计算随机线路采样问题上，存在样本数量的漏洞：同样处理

100 万个样本，“悬铃木”只需 200 秒，的确比超级计算机的 2 天要快很多。可当处理 100 亿个样本时，“悬铃木”要花上 20 天，反而不如经典计算机快。

“虽然‘九章’和‘悬铃木’分别被设计用来处理不同问题，但如果都和超算比的话，‘九章’等效地比‘悬铃木’快了一百亿倍，且克服了样本数量依赖的缺陷。”陆朝阳说，由于操纵量子比特数量的大幅增加，“九章”的输出态空间（量子纠缠可能出现的状态）达到了 1030——如果要将这些状态全部记录下来，目前世界上所有内存硬盘光盘全部用上也不够。而“悬铃木”的输出态空间为 1016，两者相差了十几个数量级，这也是导致“悬铃木”未能充分体现“量子计算优越性”的原因之一。

实际上，就在去年谷歌宣布“悬铃木”的同时，潘建伟团队已经实现了 20 光子输入 60 模式干涉线路的玻色取样，输出复杂度相当于 48 个量子比特的输出态空间，逼近了“量子计算优越性”。此后，团队与中科院上海微系统与信息技术研究所合作，自主研发出高性能光子探测器，实现了后来居上。

短短一年，“九章”所用的高效率 100 通道超导纳米线单光子探测器性能从 4% 提升到了 98%。与此同时，陆朝阳也对原先的技术方案进行了大幅革新，最终实现了超越。

“量子霸权”就是碾压一切？实现“量子优越性”并非一蹴而就

“量子优越性实验并不是一个一蹴而就

的工作。”在阐释“九章”的成就之前，潘建伟想先要纠正一个认识上的误区，即认为“量子霸权”就是碾压一切，谁先称霸，谁就得了天下。

实际上，在量子计算领域，国际同行公认有三个指标性的发展阶段，目前则处于“量子计算优越性”的第一阶段。在这个阶段，科学家还在努力尝试各种方法，试图更精准地操控更多数量的量子比特，从而获得更为强大的计算能力。

“这是一个动态过程，所有领先都只是暂时的。”潘建伟说，一方面经典计算机还在不断发展，另一方面量子计算更是在快速推进。只不过，经典计算机中电子只有 0 和 1 两种状态，而量子可处于叠加态，每增加一个量子比特，其计算能力就会指数级提升。因此，“量子争霸”实际上是更快的经典算法和不断提升的量子计算硬件之间的竞争，但最终量子并行性会产生经典计算机无法企及的算力，取得碾压性胜利。

无论是谷歌的“悬铃木”还是中国的“九章”，其算力都是百万、上亿倍于世界排名第一的超级计算机。超过 300 位的大数分解，经典计算机最快要算 15 万年，量子计算机一秒就完成了。

“在摩尔定律逼近极限的时代，在人们对算力需求指数级增长的时代，量子计算机必然会成为世界前沿的‘兵家必争之地’。”潘建伟介绍，最近美国公布了量子计算领域的最新计划，英国、欧盟、日本等国家也早有相应规划，这次“九章”的成功研制，则为中国牢固确立在国际量子计算研究中的第一方阵地地位奠定了技术基础。

延伸阅读

76 个光子 100 模式干涉线路实现玻色取样

所谓取样，是指从某个概率分布抽取样本的过程，主要目的是通过少量的关键样本来高效获取整体分布的关键信息。玻色采样是指从由一个高度纠缠的多光子量子态定义的概率分布取样的过程。在“九章”量子计算原型机中，有 100 个光纤通道，最多同时可以有 76 个光子进入这些通道。这些光子由特制的量子光源发出，确保 76 个光子完全一模一样。在通道末端，安放有高性能光子探测器，能够准确捕获每个落下的光子。

可以说，从仪器研制到设备布放，实验经过的每一步都需要经过严格计算和精心调制：光子在 50 路 2 米自由空间与 20 米光纤光程中的抖动必须控制在 25 纳米之内，这相当于跑过 100 千米的距离，误差要小于一根头发丝。

量子计算的三个指标性发展阶段

第一阶段是发展具备 50-100 个量子比特的高精度专用量子计算机，对于一些超级计算机无能为力的复杂特定问题实现高效求解，实现计算科学中“量子计算优越性”的里程碑。

第二阶段是通过对规模化多体量子体系的精确制备、操控与探测，研制可相干操纵数百个量子比特的量子模拟机，用于解决若干超级计算机无法胜任的具有重大实用价值的问题，如量子化学、新材料设计、优化算法等。

第三阶段是通过积累在专用量子计算与模拟机的研制过程中发展起来的各种技术，提高量子比特的操纵精度，使之达到能超越量子计算苛刻的容错阈值(>99.9%)，大幅提高可集成的量子比特数目(百万量级)，实现容错量子逻辑门，研制可编程的通用量子计算原型机。