

我校三项成果入选《人民日报》2023 年重大科技成就

日前，《人民日报》发布 2023 年重大科技成就，我校主持的两项成果“构建量子计算原型机“九章三号”刷新光量子信息技术世界纪录”“墨子巡天望远镜正式投入观测 全球光学时域巡天能力最强设备”，以及合作的一项成果“‘拉索’完整记录‘宇宙烟花’爆发全过程 精确测量迄今最亮伽马暴的高能辐射能谱”三项成果入选。



构建量子计算原型机“九章三号”
刷新光量子信息技术世界纪录

从《九章算术》，到如今的“九章”量子计算机，几千年时光镌刻着中国人对运算的求索。中国科学技术大学潘建伟、陆朝阳等组成的研究团队与中国科学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合作，成功构建 255 个光子的量子计算原型机“九章三号”，再度刷新光量子信息技术世界纪录，求解高斯玻色取样数学问题比当时最快的超级计算机快 1 亿亿倍。

【亲历者说】要做需要非常努力跳起来才够得着的科研，并坚持做到极致。

——中国科学技术大学教授 陆朝阳

墨子巡天望远镜正式投入观测

全球光学时域巡天能力最强设备

2000 多年前，墨子最早记录并解释了小孔成像现象。今天，以“墨子”命名的大视场巡天望远镜，让人们可以仰望同一片天空。9 月 17 日，目前全球光学时域巡天能力最强的墨子巡天望远镜在青海冷湖天文观测基地正式投入观测，每 3 个晚上能巡测整个北天球一次。仰观宇宙之大，

探索璀璨群星，逐梦苍穹，人类步履不停。



【亲历者说】我们将利用墨子巡天望远镜，开展高能时域巡天观测和近地小天体监测预警，推动我国时域天文观测能力达到国际先进水平。

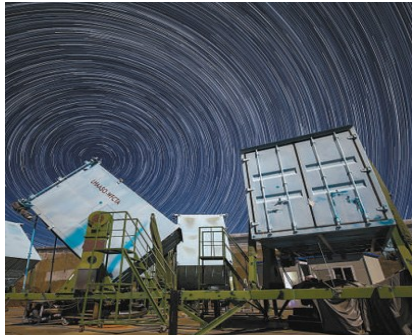
——墨子巡天望远镜总设计师 孔旭

“拉索”完整记录“宇宙烟花”爆发全过程

精确测量迄今最亮伽马暴的高能辐射能谱

约 20 亿光年外的宇宙深处，一颗“超级太阳”在燃料耗尽时坍缩爆炸，发出持

续几百秒的绚烂“宇宙烟花”——伽马射线暴 GRB 221009A。我国高海拔宇宙线观测站“拉索”首次完整记录迄今最亮伽马暴的万亿电子伏特伽马射线爆发全过程，“拉索”国际合作组在此基础上精确测量了迄今最亮伽马暴的高能辐射能谱，刷新了对伽马暴的认知。



【亲历者说】系列重大发现使“拉索”成为国际宇宙线研究的中心，开启了“超高能伽马天文学”的新纪元。

——“拉索”项目首席科学家 曹臻

我校一项成果入选《科技日报》2023 年国内十大科技新闻

日前，《科技日报》发布 2023 年国内十大科技新闻，我校我校主持完成的《51 个超导量子比特簇态制备刷新世界纪录》入选。

报道指出，继实现 10 比特、12 比特、18 比特的真纠缠态制备之后，来自中国科学技术大学等单位的研究人员又取得了重要突破——成功实现 51 个超导量子比特簇态制备和验证，刷新了所有量子系统中真

纠缠比特数目的世界纪录。相关成果 7 月 12 日在线发表于《自然》杂志。

超导量子计算被普遍认为是最有可能是率先实现实用化量子计算的方案之一，因而备受关注。作为量子计算的基本单元，量子比特不同于非 0 即 1 的经典比特，它可以“同时”处于 0 和 1 叠加态，即量子相干叠加态。

当人们把量子叠加拓展到多量子比特

体系，自然就导致了量子纠缠的概念。多个量子比特一旦实现了相干叠加，其代表的状态空间将会随着量子比特的数目增多而呈指数增长。这被认为是量子计算加速效应的根源。多年以来，实现大规模的多量子比特纠缠一直是各国科学家奋力追求的目标。

然而，由于更大规模的真纠缠态制备要求高连通性的量子系统、高保真的多比

特量子门以及高效准确的量子态保真度表征手段，此前真纠缠比特的规模未能突破 24 个量子比特。

该研究将量子系统中真纠缠比特数目的纪录由 24 个大幅突破至 51 个，充分展示了超导量子计算体系优异的可扩展性，对研究多体量子纠缠、实现大规模量子算法以及基于测量的量子计算等具有重要意义。

量子，匪夷所思但不“高冷”

陆朝阳

距离量子物理学诞生已经过去 120 多年。诞生之后，随之而来的第一次量子革命，催生出晶体管、激光、核磁共振、LED 等一大批技术，这些技术的发展从根本上改变了人们的生活方式。

如今，第二次量子革命的序幕已经悄悄拉开，很多大型企业也积极投入到量子领域。作为前瞻性领域，量子究竟是什么？又将带领技术走向何处？

量子力学：微观世界的“分身术”

量子是组成物质和能量的离散的基本单位，是一个和经典物理有很大区别的概念。想象一下，如果能进入一个比头发丝还要小 1000 万倍的微型世界，我们会惊奇地发现，物质与能量会从一个个连续的量变成一个一个离散的量。举个例子，就像走上楼梯台阶，走上台阶的人只能站上第 1 个、第 2 个、第 3 个整数台阶，但是不能站在第 1.6 个或 2.4 个台阶上，因为不稳定。这种离散的物理学概念就是量子。

生活中，人们看到的太阳光、灯光等都是由一个光子组成的，光子的能量极小，一个 40 瓦的灯泡通电后，一秒钟就可以释放出 1 万亿亿个光子。而组成物质的基本单位——原子，其特征尺度比纳米还要小 10 倍。目前，量子领域的多种技术能够精确探测到如此小的物体和能量。

微观尺度下的粒子遵循着什么样的运动方式？它和我们熟悉的牛顿力学有什么不同？让我们展开想象，用一个保龄球游戏来说明。

试想一下，假设保龄球道中间以“前三后一”的方式被放上几块挡板，保龄球只能从前面三块挡板中间的两道缝隙穿过去。很明显，只有成功通过缝隙的保龄球才能在后面的挡板上留下撞击痕迹，这些撞击痕迹对应着挡板形成的两条缝隙，组成两条条纹。

现在，让我们把保龄球放在微观领域——缩小到只有原子大小。在如此小的尺度下，保龄球游戏会产生什么不同的现

象？在重复了几百次、几千次之后，状况完全不一样了：此时，挡板上的撞击痕迹不再是两条条纹，而是多条纹干涉现象。而后方挡板最中间，也就是被前方挡板挡住的部分，居然是“微观保龄球”撞击概率最高的地方。这其实是以“游戏”的方式描述了物理历史上最经典的实验之一：单电子双缝干涉实验。

上面的游戏展示了一个很奇怪的原理：在微观领域，物体可以同时处于多种状态。这就是量子力学的“相干叠加”原理。打个比方，这有点像《西游记》中孙悟空的“分身术”，“微观保龄球”可以被看变成了两个“分身”，从两道缝隙间同时穿过。这在宏观世界中是令人匪夷所思的。

量子现象：让很多物理学家惊诧

量子相干叠加原理给量子计算在处理特定问题上提供了更强的计算能力。计算的基本单元叫作一个比特，也就是 0 或 1，宏观世界中它们非此即彼。如果科学家把量子保龄球游戏中的两道狭缝的位置分别编码为 0 和 1，此时的 0 和 1 可以同时存在。那么，如果有两个量子比特的话，就有 00、01、10、11 这 4 种状态同时存在。如果有 50 个的话，就是 2 的 50 次方个状态同时存在。以此类推，一个寄存器里会同时存在 2 的 n 次方种状态。这些指数多的数据，通过量子并行处理和巧妙的算法设计，在特定问题上就可以实现量子加速。

在游戏中，有人可能想要观测这些量子保龄球到底是从哪条缝隙过去的。这个时候一个更奇怪的现象就出现了，如果没有观测的话，多条纹状的量子现象才会出现。一旦有了观测，量子现象则会消失。也就是说，是否观测量子系统会反过来影响物理系统本身的状态。

这种量子现象也让很多物理学家感到惊诧，例如薛定谔。为此他提出了“薛定谔的猫”假想实验：如果微观世界相干叠加的限制可以转移到宏观物体，比如盒子中的一只猫，那么一只猫可以处于又死又活的状态。直到打开盒子进行观测，盒里

的猫会随机坍缩到死或活的状态。

爱因斯坦认为，量子坍缩的随机性是由于人类对物理世界的认识不够完整，未能发现隐藏的变量而导致的。1935 年，他和另外几位科学家提出了量子纠缠的概念，这也是经典物理学世界中没有的奇怪现象。量子世界中，两只“薛定谔猫”如果处于纠缠态，无论它们被分离得有多远，甚至一只在地球上，一只在月球上，它们的状态都是关联的。华人女科学家吴健雄第一次在实验上做出了量子纠缠。

这种量子随机性也为科学家们提供了量子加密的可能性。在单光子传输过程中，如果有人窃听，那么窃听行为会不可避免地使通信载体产生变化，这种变化必然会被察觉。科学家们希望利用物理学中一些可观测的效应，来解决传统信息技术中的一些问题。

第二次量子革命催生出量子通信、量子计算和量子精密测量等多项成果。在远距离量子通信方面，我国目前领先于欧洲和美国 5 年以上，特别是我国在 2016 年 8 月 16 日成功发射世界首颗量子科学实验卫星——墨子号，并实现了千公里量级的量子通信。2022 年诺贝尔奖颁奖委员会在介绍获奖者的工作时，也提到了由中国科学家主导完成的洲际量子通信实验。

量子计算机：展示了新的可能性

量子计算是后摩尔时代的一种新的计算范式，有望解决经典计算机无法完成的高复杂度计算难题。然而，从费曼提出量子计算概念以来，整个领域 40 多年面临的一个难题是：真正在技术上造出量子计算原型机，对特定问题的求解实现超级计算机无法比拟的算力。这个历史性里程碑目标被称为“量子计算优越性”，成为了国际激烈角逐的焦点。

量子计算机的国际竞争极其激烈，谷歌团队从 2014 年开始，砸下 10 亿美元，从加州大学挖走整个团队，在此基础上组建了 200 人的大团队。2019 年年底，谷歌宣布成功设计、构建了名为“悬铃木”的 53 量子比特处理器。

面对这一强敌，笔者与同事组建了主要由“90 后”和“95 后”构成的团队，利用不到谷歌 1% 的经费，完成了从理论创新到关键技术的攻关，突破了高性能量子光

源、超低损耗量子线路和量子探测等核心技术。2020 年，中国科学技术大学研究团队设计和构建的 76 个光子量子计算原型机“九章”诞生。研究显示，“九章”等效地比“悬铃木”快 100 亿倍。

随后，从激光概念得到启发，研究团队尝试通过受激辐射把量子光放大。2021 年，113 个光子 144 模式的量子计算原型机“九章二号”诞生。“九章二号”求解高斯玻色取样数学问题比目前全球最快的超级计算机快亿亿亿倍。2023 年 10 月，255 个光子的量子计算原型机“九章三号”，再度刷新了光量子信息的技术水平和“量子计算优越性”的世界纪录。

同时，中国科学技术大学研究团队利用了一个与谷歌团队相同的路线，组建了一个 56 个比特和 60 个比特的“祖冲之”号超导量子计算原型机，使我国成为了唯一在两种主流的物理体系上都实现了量子计算优越性的国家。

国际学术界对谷歌“悬铃木”和我国“九章”量子计算原型机都给予了高度评价：虽然这些最原始的量子计算原型机还不能直接产生实际的应用，但是它就像莱特兄弟的飞机首飞一样，第一次展示了一种新的可能性。

下一步，研究人员想要实现有实际应用价值的专用量子模拟机研究，最终通过 15 至 20 年的努力，成功构建超过十万、百万甚至千万比特通用的量子计算机，科学家需要运用量子纠错的方法，把错误率下降到百万分之一左右，才能做 2048 位的大数分解，这是科学家需要攀登的另一座高峰。

量子信息、量子计算起源于物理学、数学、信息、计算机等学科的交叉。比如量子密码的产生就是物理学家和计算机学家碰撞出的结果。这门科学需要更广泛的多学科学者帮助和积极参与，助力学科发展。

目前，中国科技大学的“95 后”甚至“00 后”的研究生们正在攻关下一代 3000 个光子量子计算原型机“九章四号”。从他们身上，我们看到了中国量子科学未来的希望。

（原载《光明日报》2024 年 1 月 4 日，作者系中国科大讲席教授）