

量子计算正从"玩具"变成"工具"

访中国科学院院士、中国科学技术大学教授潘建伟

◎本报记者 毕文婷

30多年前,在科学家们对量子叠加、量子 纠缠等量子力学基本问题的研究过程中,精细 的量子调控技术逐渐发展起来,使得人类从对 量子规律的被动观测跨越到对量子状态的主动 精确操纵,由此我们现在所说的"量子科技"便

量子科技是融合量子调控和信息技术而产 生的新兴学科。在这一领域,我国已经取得了 一系列重要科学问题和关键核心技术突破,并 在部分方向实现国际领先。我国量子科技将如 何深化发展,自主创新科技体系将如何构建, 从基础研究到实用化、工程化的转化之路将如 何实现引领性突破? 科技日报记者对中国科学 院院士、中国科学技术大学教授潘建伟进行了 专访,请他谈谈对量子科技发展的思考。

不会取代现有通信方式 量子通信将大幅提升信息安全水平

科技日报记者:在"墨子号"量子科学实验卫 星发射升空后,我国科学家已经利用它取得了一 系列研究成果,并成功将量子通信发展到了实用 阶段,这是否意味着,一种颠覆传统的通信方式

潘建伟:尽管量子通信是一个新兴领域,但 它并不是要取代现有的通信方式,恰恰相反,它 将以一种新的途径来大幅提高现有信息系统的

现代信息安全体系的核心要素是密钥,只要 确保密钥安全,就可以保证加密信息的安全。在 传统保密通信中,至今还没有能严格证明其安全

但量子保密通信却可以在已有公开信道中, 通过量子密钥分发实时产生密钥并安全便捷地 果信息被窃听,窃听者无法做到不留下痕迹。而 且这一点是绝对的,是由量子力学基本原理所保

换句话说,量子保密通信是在传统通信中使 用量子密钥以提升安全性,而非一种完全颠覆传

科技日报记者:目前,我国已通过"墨子号' 和"京沪干线"的实验,构建了首个天地一体化的 量子通信网络雏形,我国量子通信也已经处于国 际领先水平。那么,为持续保持引领地位,我国 还需要在哪些方面着力?

潘建伟:量子通信的发展目标是构建全球范 围的广域量子通信网络体系。首先通过光纤实 现城域量子通信网络,进而通过中继器实现邻近 两个城市之间的连接,最终通过卫星平台中转来 实现遥远区域之间的连接,这是广域量子通信网

按照这一路线,量子通信未来的发展,一方 面需要扩大量子通信网络的有效覆盖范围,包括 实现可支持千公里量级的量子中继、发展下一代 可全天时工作的量子卫星网络等;另一方面,需 要在工程化集成与验证的实践中推动核心器件 的自主研发、相关应用标准的制定和规模化的应

有3个里程碑发展阶段 通用量子计算机诞生或还需20年

科技日报记者:除量子通信外,量子计算也 得到了极高的关注,国内外均有企业声称已进入 到量子计算领域,但同时也有观点认为量子计算 还很遥远。对此您怎么看?

潘建伟:量子计算研究是一个高度复杂的工 作,对于学术界而言,还是要循序渐进,实现一个 个阶段性的目标。国际学术界公认的量子计算 发展有几个里程碑阶段——

第一个里程碑是实现量子计算优越性,即量 子计算机对特定问题的计算能力超越超级计算 机,这需要相干操纵约50个量子比特。2019年 谷歌实现的量子计算原型机"悬铃木"就包含53 个超导量子比特,在求解随机线路采样问题上超 越了超级计算机,也就是成功实现了量子计算优 越性。但是,求解随机线路采样目前看来还没有 现实意义,现在的量子计算原型机更像是一个 "玩具",只能在玩某一个游戏方面击败经典计算 机,它的重要意义在于,证明了量子计算机是可 以超越经典计算机的。

第二个里程碑是实现专用量子模拟机,即相 干操纵数百个量子比特,用于解决若干超级计算 机无法胜任的实用问题,例如量子化学、新材料 设计、优化算法等。到这个时候,量子计算机才 真正开始有用,变成一个"工具"。我们希望能够 在5-10年内实现这样的量子模拟机,这是当前 的主要研究任务。

第三个里程碑是实现可编程的通用量子计 算机,即相干操纵至少数百万个量子比特,同时 将量子比特的操纵精度提高到超越容错阈值(> 99.9%),能在经典密码破解、大数据搜索、人工智 能等方面发挥巨大作用。到了这一阶段,量子计 算机可能就和我们现在观念中的计算机差不多 了,可以用来快速解决很多问题。不过,由于技 术上的巨大挑战,何时实现通用量子计算机尚不 明确,学术界一般认为还需要20年甚至更长的

科技日报记者:前不久,您的团队构建了76 个光子的量子计算原型机"九章",据媒体报道, 其可以在1分钟内实现超级计算机1亿年才能完 成的任务。您认为,我国的量子计算正处于什么 阶段?

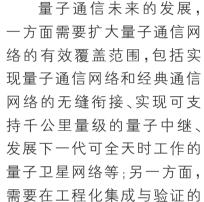
潘建伟:根据现有的最优经典算法,"九章" 处理高斯玻色取样问题的速度比目前最快的超 级计算机"富岳"快100万亿倍,标志着我国也成 功达到了量子计算优越性的里程碑,且"九章"的 等效速度比谷歌的"悬铃木"快100亿倍左右。

除了"九章"代表的光量子体系,超冷原子和 超导线路也是公认最有可能率先实现大规模量 子比特相干操控的物理体系。在超导量子计算 方面,我国近期也有望实现超越谷歌的"量子计 算优越性"。在超冷原子体系中,我国在规模化 原子纠缠的制备与操纵,对自旋轨道耦合、超冷 分子反应等的量子模拟方面取得了系列重要成 果,这为实现超冷原子体系的专用量子模拟机奠 定了基础。

离子、硅基量子点等物理体系同样具有多比 特扩展和容错性的潜力,也是目前国际量子计算 研究的热点方向。在这些体系的量子计算基本 要素方面,我国积累了大量关键技术,与国际主 要研究力量处于并跑水平。

此外,由于拓扑量子计算在容错能力上的优 越性,利用拓扑体系实现通用量子计算机是面向 长远的重要研究目标,目前国内外均在为实现单 个拓扑量子比特而努力,这将是一项"从0到1" 的突破。





实践中推动核心器件的自主

研发、相关应用标准的制定

和规模化的应用示范。

中国科学院院士、中国科学技术大学教授

调控技术迅速发展 精密测量已经进入量子时代

科技日报记者:除上述两大领域外,量子精 密测量也是量子科技非常重要的细分领域,相比 而言,公众可能对它比较陌生。能否请您介绍一 下,量子技术对精密测量的意义?

潘建伟:量子状态对环境高度敏感,其实就 是一个非常灵敏的传感器。同时,物理量的量子 化也提供了一个非常精确的基准,比如光子是光 能量的最小单元,在一定频率下,一个光子的能 量就是固定值,那么如果我们能够一个个地"数" 光子的话,基本物理量中的发光强度就可以用光 子数来定义,精度和稳定性都会大幅提升。这里 "数"光子其实就是指量子调控的能力。

正是鉴于量子调控与量子信息技术的快速 发展,2018年第26届国际计量大会通过了量子 化方法定义国际单位制的重大决议。事实上, 时间、位置、加速度、电磁场等很多物理量,都 可以利用量子技术实现超越经典技术极限的

科技日报记者:量子精密测量包括了哪些应 用领域?

潘建伟:量子精密测量的主要应用包括高精 度光频标与时间频率传递、量子陀螺仪、原子重 力仪等量子导航技术,以及量子雷达、痕量原子 示踪、弱磁场探测等量子灵敏探测技术等。这些 技术将在惯性导航、下一代时间基准、隐身目标 识别、全球地形测绘、医学检验等广泛领域发挥

我国量子精密测量领域的研究整体上相比 发达国家还存在一定差距,但这个差距近年来正 在迅速缩小,并且在部分方向上已经与公开报道 的国际最高水平相当。

(更多内容请关注《前沿科学》量子科技专

相关新闻

我学者实现量子超表面图像边缘探测

科技日报讯 (记者吴长锋)记者从中国科学 技术大学获悉,中国科学院院士、中国科学技术 大学郭光灿团队在量子超表面图像边缘探测实 验研究中取得重要进展。郭光灿团队的史保森 教授、周志远副教授等利用高品质偏振纠缠源和 高效介质超表面,实现了待检测图像状态在正常 模式和边缘探测模式远程的开关切换,并且证实 了在弱光场照明下,纠缠光子照明相对于直接单 光子照明具有更高的信噪比。这项研究成果

2020年年末在线发表于《科学进展》。 近年来,超表面材料与量子光学结合成为重 要的研究方向,而边缘探测是图像处理过程中的 一种常用手段。相较于传统的数字边缘提取方 法,模拟边缘提取方法具有更高速度和更低能 耗,但此前在量子纠缠照明下的超表面器件边缘

探测还没有出现相关研究。 本次研究过程中,科研人员用线偏振光照射 超表面器件发生光自旋霍尔效应,使两个圆偏振

的出射光场在空间发生微小的平移,从而导致出 射光场的中间部分是线偏振、边缘部分是圆偏 振,随后通过检偏器可以提取待成像物体的边缘

轮廓。 那么,成像模式如何在正常模式和边缘探 测模式之间实现远程切换?专家解释说,可利 用偏振纠缠光源中的一个光子进行照明,该光 子含有两种可能的偏振状态,通过测量另外一 个光子的状态,用于照明的光子的偏振状态也 会随之确定,因此通过远程切换纠缠光子对中 的用于触发的光子的偏振状态,就能切换不同 的成像模式。

专家表示,该成果是量子超表面研究在图像 边缘探测的一次尝试,在图像加密和隐写上具有 潜在应用。另外,在光子照明匮乏的场景,如酶 反应跟踪与生物活体细胞的观察上,较高信噪比 会表现出一定优势。该工作将会促进更多的关 于量子光学和超表面材料结合的相关研究。

随"嫦娥"奔月的种子发芽了 与"前辈"相比它们经历大不同

◎本报记者 叶青

搭载嫦娥五号探测器在月球遨游23天后,一批重约40克的"航聚 香丝苗"水稻种子随同返回器顺利着陆,标志着我国水稻育种首次完 成深空空间诱变试验的搭载,具有里程碑式的意义。

2020年年末,国家探月与航天工程中心在北京举行了嫦娥五号搭 载种子交接仪式。据了解,这批"奔月"的水稻种子来自华南农业大 学国家植物航天育种工程技术研究中心(以下简称航天育种中心)。 12月28日,记者在航天育种中心看到,有一些"奔月"水稻种子已经发 芽,科研人员正在准备进行后续研究。

记者了解到,我国是世界上首创利用航天技术进行作物诱变育种 的国家。航天育种的原理其实并不复杂——空间环境具有高真空、微 重力、弱磁场及复杂辐射等特点,太空射线中复杂的高能重离子冲击 生物细胞,诱导其产生遗传变异,就能获得新的性状。

"变异是物种进化的基础,也是新品种选育的重要途径。"航天育 种中心副主任郭涛介绍,"深空极端环境是极为独特的诱发变异因 素,这对于新品种选育非常重要。"

郭涛进一步介绍说:"水稻是遗传学研究的一个模式生物。选 择水稻开展深空搭载研究物种进化,不仅有助于理解深空环境的遗 传效应,而且可将所获得的优良变异应用于水稻品种选育,有助于 提升农业生产水平。"

那么,此次参与航天育种的水稻种子是如何入选的呢?"所选的 种子特性要与科研目标相匹配。"郭涛表示,种子首选条件应是性能

经过严格科学的"选秀",最终来自航天育种中心的"航聚香丝 苗"水稻种子脱颖而出。有趣的是,这个种子出自"太空世家",它的 "父亲"和"母亲"同样来自太空。亲本之一的"华航31号"是利用空 间诱变及现代生物学技术培育出的超级稻,其米质达国标优质2 级、高抗稻瘟病、耐肥抗倒、耐寒性强、适应性广;另一个亲本"航恢 1508"同样是空间诱变的产物。

作为我国航天育种领域重要的国家级科研创新平台,航天育种 中心自1996年以来先后进行了24次植物空间诱变试验。但与之前 我国航天育种所搭载的返航卫星、神舟飞船相比,这次搭载实验有

"这次搭载的水稻种子历经近23天的飞行,在近月轨道长期接受 深空独特极端环境的辐射影响,而且遭遇了范艾伦辐射带、太阳黑子 爆发。其空间航行距离之长、遭遇空间环境之复杂,都是可遇不可求 的。"郭涛表示,本次搭载实验预期将产生更强烈的遗传效应,这有助 于寻找深空与前期近地轨道间的效应差异,为深入研究航天育种变 异规律提供重要的实验样本和数据。

如今,搭载嫦娥五号"奔月"归来的种子们正静静躺在实验室里。 "搭载只是第一步。接下来通过将这些水稻种子进行一系列的自 交或杂交,科研人员会从抗病虫害、耐逆性、适应机械化生产等方面,

培育适合未来需求的优良水稻新品种。"郭涛说。

郭涛表示,此次深空空间诱变实验,有望帮助人类更深入了解 水稻如何响应深空环境的分子及遗传机制;获取一批具有重要价值 的优良新基因,并形成完善的关键基因利用技术体系,服务于水稻 品种选育;选育一批高产、优质、多抗、绿色的水稻新品种,满足多元

"这次搭载嫦娥五号进行深空空间诱变试验,属于100%中国原 创,将来也将产出100%原始创新的成果。"航天育种中心主任陈志 究,同时希望借此机会开展对深空航天诱变的系统性研究;创建、发 现、挖掘一批好的基因和突变体,培育一批优质的新品种,服务国家 粮食生产。

最大分段式固体火箭发动机试车成功

中国航天"大力士"来了

科技日报讯 (记者史俊斌 通讯员荣元昭 张立中)2020年12月30 日上午11时32分,我国最大的分段式固体火箭发动机——民用航天 3.2米3分段大型固体火箭发动机在陕西西安试车成功。该机由中国航 天科技集团四院(以下简称航天四院)自主研制生产,是迄今国内直径 最大、装药量最大、工作时间最长的固体分段式助推器。

在运载火箭领域,固体发动机主要作为全固体运载火箭的主发动 机、捆绑式运载火箭的助推发动机使用。

由于固体发动机具有结构简单、可靠性高和机动性好,易实现大推 力,可长时间储存等优势,采用固体助推器与液体芯级发动机组合,可 以充分发挥固体大推力、液体长时间高比冲的技术优点,从而实现运载 火箭动力系统技术性与经济性的完美结合。

"固体发动机要真正运用到宇航运载领域,必须要达到更大推力才 行。"航天四院大推力固体发动机总设计师王健儒指出,分段式固体发 动机具有推力大、工作时间长、结构尺寸大等特点,是运载火箭实现大 起飞推力的有效途径。同时,采用分段技术,可大幅降低发动机技术难 度、研制条件难度以及研制成本。

作为实现固体发动机大型化的关键技术,分段对接技术在目前国 际上被普遍使用。其主要是将燃烧室分成若干段,每段燃烧室独立 绝热、浇注,最终通过模块化组合装配,实现有限直径内大装药、大推 力的技术需求。

航天四院党委书记任全彬表示,大型固体分段发动机,未来可以应 用于大型、重型运载火箭固体助推器中,通过增加段数,发动机推力将 大幅提升,可满足我国空间装备、载人登月、深空探索的不同发展需求。