

编者按 谷歌推出突破性量子芯片、我国超导量子计算机“祖冲之三号”亮相……近期,国内外量子计算领域成果频出。为帮助读者更好了解这一前沿技术发展动态,本版今起推出“解读量子计算新进展”系列报道,介绍量子计算的技术突破、研究方向及未来应用潜力。

谷歌量子芯片的突破点在哪儿

——“解读量子计算新进展”系列报道之一

◎本报记者 刘霞

在通往实用纠错量子计算机的征途上,科学家们再下一城。

前不久,美国谷歌公司发布最新量子芯片“威洛”(Willow),称其在计算速度和纠错能力方面取得“两个重大进步”,不到5分钟就完成了当今领先的超级计算机需要10²年才能完成的任务,为研制实用的大规模量子计算机奠定了坚实基础。

消息一出,立即引起广泛关注。美国太空探索技术公司首席执行官埃隆·马斯克和开放人工智能研究中心(OpenAI)首席执行官萨姆·奥特曼,也为“威洛”的面世点赞。

何为量子芯片?在科技界掀起如此波澜的“威洛”究竟是否有“真才实学”?科技日报记者近日采访相关专家,对量子计算一探究竟。

大规模并行计算有优势

“量子芯片是利用量子纠缠和量子叠加等量子力学原理进行信息处理的核心部件。”上海交通大学集成量子信息技术研究中心(IQIT)主任金贤敏对记者解释道,“传统芯片基于经典物理学原理,基本信息处理单位为比特,每个比特只能取值0或1;而量子芯片的基本信息处理单位为量子比特,每个量子比特可以为0或1,或两者的叠加态。这种叠加态的存在使量子芯片能够在同一时间处理多种数据,从而比传统芯片更快、更高效地解决某些复杂问题。”

根据量子力学原理,量子纠缠是指两个或多个粒子在相互作用后,它们的状态变得紧密相关,以至于一个粒子的状态变化会瞬间影响到与之纠缠的其他粒子的状态,无论这些粒子相距多远。金贤敏介绍:“量子纠缠使量子芯片在处理信息时具有更强的关联性和协同性。量子叠加和量子纠缠使量子芯片在处理大规模并行计算时具有显著优势,能够实现更快的计算速度和更强的信息安全性。”

“威洛”由谷歌量子人工智能(AI)部门研发,内含105个物理超导量子比

特。该部门负责人哈特穆特·内文在公司官网撰文称,“威洛”是部门十几年辛勤研发的成果,是公司目前最强大的超导量子芯片。

内文称,在设计和制造量子芯片时,系统工程是关键。为达到最佳性能,他们对芯片的所有组件,如量子比特和量子比特门、量子比特重置和读出,都进行了良好的设计和集成。此外,他们还集成了一个持续监控系统,其能实时检测“威洛”内可能导致错误的干扰,并自动干预,以维持计算过程的完整性和精确性。

谷歌量子AI部门硬件总监朱利安·凯利说,在他们的精心打磨下,“威洛”取得了两个重大进步:一是纠错能力显著提升,二是解决特定问题运算速度更快。

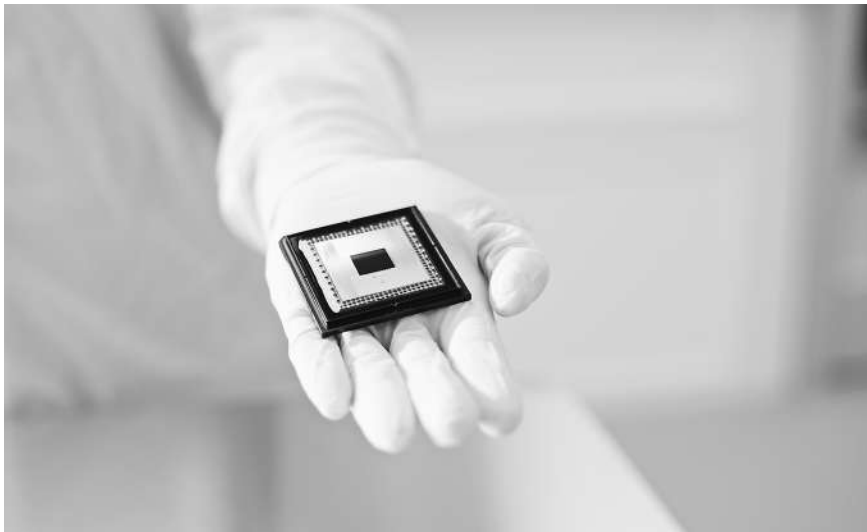
纠错能力显著提高

研究团队在发表于《自然》的论文中称,“威洛”首次实现了低于表面码阈值的量子纠错。中国科学技术大学教授陆朝阳在接受《自然》采访时称其为“一项真正了不起的技术突破”。

那么,什么是量子纠错?尽管量子计算机有潜力实现超高速运算,但量子比特异常敏感,导致量子计算机极易出错。而且,量子比特的数量越多,出错的可能性越高。这种极高的易错性,成为阻碍量子计算走向“星辰大海”的最大“拦路虎”。

一个解决方案是量子纠错,即通过把多个物理量子比特编码成一个逻辑量子比特,来降低出错率。这一方法由美国科学家、量子计算先驱彼得·肖尔于1995年首次提出,此后科学家提出了许多不同的编码方案。谷歌论文中提到的“表面码”,就是一种常用的量子纠错方法。

量子纠错表面码由俄裔美国物理学家、加州理工学院物理系教授阿列克谢·基塔耶夫提出,即用大约2d²(d为码距)个物理量子比特形成二维量子比特阵列,从而编码一个逻辑量子比特。表面码就像一个特殊的“保护罩”,用来保护量子信息,使其不受干扰。码距越大,保护的能力就越强,而需要的物理量子比特也就越多。例如,谷歌这次就用了105个物理量子比特,来编码一个码距为



图为谷歌“威洛”(Willow)量子芯片。视觉中国供图

7的逻辑量子比特。

物理量子比特与逻辑量子比特之间的关系,如同砖块与墙壁。要想让逻辑量子比特的“墙壁”建得好,作为“砖块”的物理量子比特就要少出错。其出错率必须低于一个特定阈值,否则只会“越纠错越错”。

而“威洛”实现了“越纠错越好”。谷歌团队的最新研究表明,“威洛”中逻辑量子比特的数量每增加一次,错误率就会降低一半。也就是说,码距为7的错误率是码距为5的一半;码距为5的错误率是码距为3的一半,以此类推。目前,研究团队只展示到码距为7的情况。

内文认为,这一成果标志着“威洛”实现了低于量子纠错阈值运行,即在增加量子比特数量的同时,能够降低错误率,而且是指数量级降低错误率。这是构建足够精确且实用的量子计算机的关键里程碑。在此基础上,他们可以不断增加量子比特的数量,制造越来越大、越来越复杂的量子计算机,并让其在运行计算方面变得越来越好。

特定领域运算更快

凯利称,“威洛”取得的第二大进展是在解决特定问题时运算速度更快。随机电路采样(RCS)基准被广泛用于量子计算领域,是当今量子计算机可

完成的难度最高的经典基准。基于该基准,研究团队让“威洛”与世界上最强大的超级计算机之一Frontier(前沿)进行了对决。结果显示,“威洛”不到5分钟完成的计算,Frontier将需要10²年才能完成,这一时间是宇宙年龄138亿年的700多万亿倍。

凯利认为,这一结果显示出在某些应用中,经典计算和量子计算之间指数级的差距。

5分钟与10²年,如此悬殊的数字对比引起了极大关注。有人不禁遐想,这是否意味着可以用“威洛”高效地挖比特币、运行大模型?对此,陆朝阳在此前发布的视频中解释:“实际上,谷歌在这项研究中展示的算力并非通用算力,而是只针对RCS这一特定数学问题的专用算力。”

英国萨里大学计算机专家艾伦·伍德沃德在接受英国媒体采访时也提醒,不要夸大“威洛”在单一测试中的表现,测试结果并不意味着“威洛”相比传统计算机实现了全面提速。不过,他认为“威洛”在量子纠错能力上的提升,是一个“重要的里程碑”。

金贤敏则认为,量子计算机的发展不仅需要提升硬件的纠错能力,还需要结合当前含噪中等规模的量子硬件进行协同设计,充分发挥量子硬件的独特优势,并有针对性地开发创新的量子算法与计算范式,这也是推动量子硬件计算能力充分发挥的必要研究方向。

国内首款商密报告认定的量子随机数芯片发布

科技日报讯(记者洪敬谱)12月18日,安徽问天量子科技股份有限公司(以下简称“问天量子”)宣布,其研发生产的WT-QRNG300量子随机数芯片于近日通过国家密码管理局商用密码检测中心检测,成为国内首款商密报告认定的量子随机数芯片产品。

随机数指的是那些不可预测、没有

固定规律的数字,量子随机数就是利用量子力学的随机性原理产生的真正随机的数字序列。问天量子首席科学家韩正甫介绍,WT-QRNG300芯片采用公司自主研发的基于量子隧穿效应的量子熵源,生成的随机数包含了量子力学的内禀随机性,是具有不可预测性的真随机数,为密码技术提供先决条件。“这款芯

片体积小、功耗低、性能强,可广泛应用于电力、通信、金融、物联网、车联网等领域。”韩正甫说。

作为国内首批从事量子信息产业化的高新技术企业,问天量子自2009年成立以来自主研发了量子保密通信终端设备、量子密码应用设备、量子密码网络运行维护系统等量子密码产品。

WT-QRNG300芯片通过商密检测,意味着该款产品的加密技术达到了国家规定的安全标准。“这款新品将成为问天量子商密系列产品的中流砥柱。公司也将继续深耕量子密码领域,不断探索新的应用场景和技术突破,为量子科技发展贡献更多智慧和力量。”韩正甫表示。

学术界首次发现——

噪声会导致量子优势突然消亡

科技日报讯(记者都芑)记者12月26日获悉,由清华大学丘成桐数学科学中心助理教授魏朝晖、交叉信息研究院博士生孙维孝、丘成桐数学科学中心博士生魏付川及邵钰铨组成的科研团队在量子计算研究方面取得重要进展。团队成功刻画了逐步增强的噪声影响量子优势完整动态过程,并意外发现噪声会导致量子优势突然消亡的特殊现象。相关论文发表于《科学进展》。

多年来,人类一直有个宏大的目标:建造大规模的量子计算机,以实现计算能力的跨越式发展。当下,在实现这一目标的道路上还存在很多阻碍,其中之一便是量子信息的脆弱性使其易受噪声干扰,削弱了量子计算相对于传统计算的优势。噪声指的是在量子计算过程中出现的会干扰和影响量子信息处理的不确定因素,包括环境干扰、测量误差、量子门操作的不准确性等。研究噪声如何

影响甚至摧毁量子计算的优势,是量子计算关键的理论研究方向之一。

人们很早就意识到,过强的噪声会导致量子计算可以被经典计算快速模拟,进而导致量子优势彻底消失。然而,当噪声较弱时,情况要复杂许多。在一个优秀的量子算法中,噪声的影响尤为显著。如果噪声强度从零开始缓慢增加,如何精确刻画其影响量子优势的动态过程?量子计算要实现大规模工程应用,理解这个动态过程至关重要,但人们对这个问题的认识还十分有限。

刻画这个动态过程,需要解决两大难题。首先,即使在没有噪声干扰的情况下,精确描述量子优势本身就是一项艰巨任务。其次,噪声在量子计算问题中的数学结构十分复杂,这直接阻碍了在含噪声情况下对量子优势研究的进展。

魏朝晖和合作者近年来研究发现,关联生成模型可为量子优势的理论研究提供全新视角。这是一个可对量子

优势实现精确量化的理论模型,为研究噪声如何影响量子优势提供了可能。基于关联生成模型,团队成功刻画了逐渐增强的噪声影响量子优势的动态过程。为此,团队深入研究了较强噪声对此类模型可达性的影响,同时也对较弱噪声如何影响量子优势的代价进行了详细分析。

团队在量子计算研究中意外发现了一种奇特现象:当量子信息处理协议中的噪声强度突破某个阈值时,原本非常明显的量子优势可能会突然消亡。这一发现与人们通常认为的量子计算机性能会随着噪声增加而逐渐下降的直觉相悖。通过对此现象的深入分析,研究人员进一步对量子优势何时会突然消亡提供了完整数学描述。这是学术界在量子计算中首次发现噪声造成量子优势突然消亡的现象,以一个全新视角揭示了噪声对量子计算的巨大危害。

这一发现表明,在量子信息处理中,噪声的危害可能以一种更为剧烈的方式显现。研究人员需要继续深入探索,以加强对这一量子计算关键问题的理解。此外,即使未来量子计算获得广泛应用,深刻理解噪声对量子优势的影响仍然至关重要。它能指导人们如何更有效地部署成本高昂的量子纠错机制。

新知

高精度曲线“画”出 15亿年生物多样性演化史

科技日报讯(记者张晔 金凤)记者12月26日获悉,南京大学地球科学与工程学院研究员唐卿、中国科学院院士沈树忠等联合中外科研单位,创新性结合超算和人工智能等手段方法,绘制出迄今第一条早期地球高精度生物多样性曲线。这条曲线揭示了从20亿年前到5亿年前,约15亿年的生物多样性演化历史。相关论文近日发表于国际学术期刊《科学》。

由于研究方法限制,事关生命从哪里来、到哪里去的重大科学问题长期得不到准确解答。为破解相关谜题,唐卿和沈树忠等研究人员耗时6年创建了目前全球数据最全、信息量最大的早期地球古生物地层数据库。该数据库定量勾画了复杂生命的起源、辐射、灭绝、再次辐射至现代生态系统形成的早期历史过程。

研究表明,随着第一个可信的真核生物化石在约17亿年前出现后,其多样性一直保持较低但稳定增长的模式。直到约7.2亿年前,全球性大冰期的出现打断了生命演化的原有进程。随着大冰期事件的结束,地球物种多样性开始迅速增加且频繁发生波动,造成多次生物大辐射和大灭绝事件。此后,形态更为复杂的宏体生物(包括动物)迎来快速辐射。但这些复杂宏体生物在埃迪卡拉纪末(约5.51亿至5.39亿年前)又遭遇了两次明显的多样性下降,代表了动物演化史上最早的两次大灭绝事件。

据了解,该研究填补了早期地球生物多样性宏演化研究的空白,为阐明早期地球生命起源和演化规律、探索地外生命是否存在等重要科学问题提供重要理论基础。

研究证实候鸟迁徙 促使抗生素抗性基因扩散

科技日报讯(记者王祝华)12月25日,记者从海南热带海洋学院获悉,该校生态环境学院教授、海南省近岸海洋生态环境过程与碳汇重点实验室主任那广水在环境科学领域国际学术期刊《危险材料杂志》发表论文,为全球抗生素抗性基因的传播规律提供新视角。

抗生素抗性基因(ARGs)是一类存在于细菌或其他微生物基因组中的基因,它们能让这些微生物对抗生素产生抵抗力,给公共健康带来严重威胁。尽管人类活动加速了ARGs的传播和扩散,但ARGs在远离人类影响的原始环境中同样存在。然而,长期以来,关于ARGs在原始环境中的机制鲜有研究成果。

那广水介绍,近年来,学术界逐步认识到自然环境和生物迁徙在ARGs扩散中的潜在作用,有研究发现,迁徙性鸟类和野生动物可能成为ARGs传播的生物载体。然而,在极地原始生态系统中,尚未有系统性的研究关注迁徙鸟类如何影响ARGs的传播等问题。因此,海南热带海洋学院研究团队致力于填补这一领域的空白。

北极是地球上相对未受干扰的生态系统之一,成为研究ARGs全球扩散的重要场所。

那广水团队通过宏基因组学技术,全面分析了北极地区土壤、潮间带沉积物、候鸟粪便及本地驯鹿粪便中的ARGs与微生物群落特征,从北极环境中共检测到26种类型、718个亚型的ARGs,其中131个为核心抗性基因。研究团队发现,候鸟粪便中的ARGs丰度和种类,显著高于其他环境介质,并且存在大量多重耐药基因及部分与人类活动相关的抗性基因。此外,研究人员还发现了可用于指示鸟类迁徙对极地抗性污染的特征性ARGs亚型,为候鸟在北极地区传播ARGs的作用提供了实证。

那广水说,该研究不仅扩充了北极地区ARGs的分布和丰度基线信息,有助于对ARGs的自然背景进行准确评估,还揭示了候鸟迁徙在ARGs的全球扩散中起到的重要作用,可为未来制定针对性环境治理措施提供科学依据。此外,研究结果揭示了自然生物与环境污染的复杂交互,为理解ARGs全球传播路径及其生态风险评估提供了新思路。

科技手段揭示

古代蜻蜓眼玻璃珠研制历程

科技日报讯(记者陆成宽)记者12月23日从中国科学院大学获悉,该校与其他单位的科研人员利用多种科技手段,阐明了战国至西汉时期铅钡玻璃珠蜻蜓眼的技术内涵,成功揭示我国古代蜻蜓眼玻璃珠的研制历程。相关论文发表于《科学通报》。

玻璃是人类研制的最重要材料之一。早在我国西周时期,地中海、美索不达米亚、南亚和东南亚等地区就以钠玻璃生产而著称,而我国则以铅钡玻璃生产而闻名。作为古代玻璃制品的重要代表,蜻蜓眼玻璃珠最初出现在埃及和美索不达米亚,并于春秋晚期经由欧亚草原传入我国中原。

“以往研究表明,我国铅钡玻璃珠蜻蜓眼的出现受到外来钠玻璃的影响。但外来钠玻璃究竟如何影响我国铅钡玻璃珠的制作,学界一直存在不同观点。”论文通讯作者、中国科学院大学人文学院教授杨益民告诉记者。

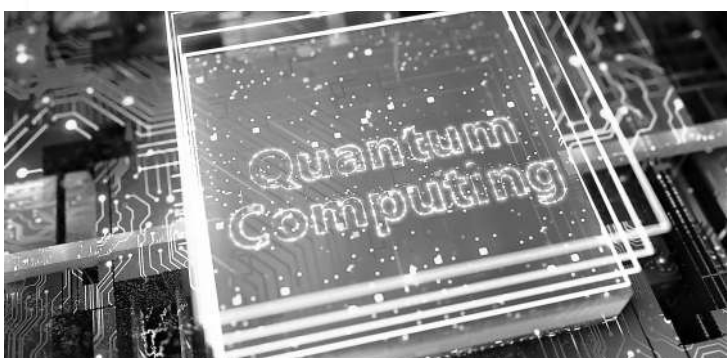
在这项研究中,科研人员对湖北云梦郑家湖墓地出土的铅钡玻璃珠蜻蜓眼的成分、物相和显微结构进行分析,首次识别出铅钡玻璃的钠源为富钠矿物,或来自欧亚大陆不同地区的不同类型钠玻璃;铅钡玻璃的硅源包括额外添加的石英。

杨益民认为,我国古代工匠发明铅钡玻璃的主要动力是仿制外来的钠玻璃珠蜻蜓眼。白色眼线是蜻蜓眼玻璃珠的重要特征,外国工匠通常在玻璃中添加二氧化锡或铋酸钙等乳剂来形成白色。在这项研究中,科研人员利用扫描电镜、超薄切片结合高分辨显微透射电镜成像技术,在铅钡玻璃珠蜻蜓眼中发现了大量微米级未熔石英颗粒。

“石英是原料之一,工匠通过控制其熔融程度来形成微米级颗粒,从而制作出白色乳油玻璃,这种工艺应该是古代白色铅钡玻璃生产的主流工艺,是我国本土创新。”杨益民说。

同时,显微计算机断层扫描分析结果表明,我国古代工匠在仿制外来钠玻璃珠蜻蜓眼的过程中,吸收了眼线纹装饰中的逐层镶嵌工艺,但目前没有发现引进缠绕工艺制作的珠子基体。

“这项研究探讨了欧亚大陆的钠玻璃如何促进我国早期铅钡玻璃制品的诞生,并揭示铅钡玻璃珠生产工艺中的本土创新。”杨益民说,研究为理解我国早期玻璃产生、中外文明交流互鉴提供了新见解。



量子计算概念图。视觉中国供图