

量子纠缠可提升光学原子钟精度

科技日报北京10月9日电(记者张佳欣)美国科罗拉多大学博尔德分校和美国国家标准与技术研究院的量子物理学家们,利用量子纠缠在原子和电子尺度上再现了一个充满不同滴答声“房间”的场景。这一成就可能为开发新型光学原子钟铺平道路。相关研究成果9日发表在《自然》杂志上。

光学原子钟通过监测原子内部固有的“滴答”频率来极其精确地追踪时间。尽管这些时钟已经达到了极高的精度,但它们仍受到量子力学中固有不确定性的限制,这似乎给时钟的精度设定了一个无法逾越的上限。然而,量子纠缠现象或许能够提供一种突破这种限制的新途径。

当两个粒子处于纠缠状态时,对一个粒子的测量会瞬间影响另一个粒子的状态,即便两者相隔很远也是如此。在实际应用中,这意味着在光学原子钟中,被纠缠的原子不会像独立个体那样行为不可预测,而是表现得

如同一个更大的单一实体,使得它们的行为更可预见。

此次研究团队通过推动铷原子,使其电子进入远离原子核的高能级轨道,从而实现了量子纠缠。在这种状态下,电子云变得非常扩散,就像蓬松的棉花糖。如果让几个这样的原子足够接近,它们之间的电子就会产生强烈的相互作用,形成纠缠态。研究人员尝试构建了包含单个原子以及由两个、四个和八个原子组成的纠缠群体的时钟模型。

实验结果显示,在特定条件下,基于纠缠原子的时钟表现出的不确定性,显著低于传统光学原子钟,这意味着可以在更短的时间内达到相同的精度水平。更重要的是,这些新型时钟甚至有望超越所谓的“标准量子极限”,而这正是非纠缠系统理论上能达到的最佳精度极限。

这项研究不仅展示了量子技术如何提高计时精度,还为未来探索宇宙基本性质提供了新工具。

多种纠错技术“护驾”量子计算

科技创新世界潮 365

◎本报记者 刘震

尽管量子计算机领域的研究进展突飞猛进,但量子计算机的“性情”仍不稳定,容易出错,尚无法投入实际应用。为此,包括谷歌和IBM在内的众多公司竞相开发量子纠错技术,旨在为最终实现稳定可靠的量子计算系统奠定基础。

他们取得的一系列突破性成果,正将量子纠错技术推向新高度。这些成果不仅彰显了量子纠错技术的巨大潜力,也拓宽了量子计算的边界。正如英国剑桥大学科学家杰米·维卡里10月1日接受英国《新科学家》周刊网站采访时所言:突然间,真正有用的量子计算设备竟如此“近在咫尺”。

量子纠错技术应运而生

传统计算机使用“比特”处理信息,每个比特只能代表0或1。而量子计算机的基本信息处理单元为“量子比特”,它们可以同时处于0和1的“叠加态”。这种特性使量子计算机能比传统计算机更快处理某些任务。

此前数年,量子计算机公司大多追求“以大为美”:不断增加系统内量子比特的数量,以期打造出更强大的量子计算设备。但量子比特极其敏感,容易受到环境噪声的影响,从而出现错误。

目前,世界上最先进的量子计算机在执行量子运算时,最多只能维持几百次无误差操作。然而,为了实现真正的量子优势——即量子设备能做到普通设备做不到的事情,这一数字必须攀升至百万次,甚至数亿次。有科学家估计,要执行一个大规模具有实用意义的量子算法,可能需将量子比特的出错



IBM公司的量子计算机展示模型。

图片来源:英国《新科学家》杂志网站

率控制在 1×10^{-10} 以下。

《电子工程时报》欧洲分部今年5月发表的一篇文章也指出,现有量子计算机通常每进行一百次计算就会出现一次错误,即错误率为 10^{-2} ,远未达到当前经典计算机所实现的 10^{-18} 。

极高的易错性,成为量子计算实现其伟大愿景的最大“拦路虎”,量子纠错技术应运而生。

逻辑量子比特纠错效果初显

多家公司纷纷将注意力投向逻辑量子比特。逻辑量子比特由物理量子比特通过量子纠缠连接而成,它通过将相同数据存储在多个地方来减少量子计算机的错误。

今年8月,谷歌科学家发表论文称,通过向计算机中添加更多物理量子比特来构建逻辑量子比特时,错误不会像滚雪球般变得无法控制,而是在达到某个阈值后,随着系统的扩大而减少。

研究团队解释称,其中的原理是将信息分散在一组量子比特中,即便其中一个

量子比特出现错误,另外的物理量子比特仍然可以提供足够的信息,保证计算结果的准确性。这一结果为未来实现大规模容错量子计算奠定了坚实的基础。

不过,英国帝国理工学院的罗伯特·邦代桑指出,谷歌的工作并不涉及真正的量子计算,但这些量子比特可以作为存储器使用。

当地时间9月10日,微软公司也传出消息。据其官网报道,该公司与量子计算公司Quantinuum成功纠缠了12个逻辑量子比特,并创造了有史以来最高的计算保真度。研究团队还使用逻辑量子比特结合人工智能以及云端高性能计算,展示了首个端到端化学模拟,解决了实际化学难题。

微软团队解释称,新突破得益于两个关键要素:作为硬件的H2离子阱量子计算机,以及作为软件的Azure Quantum量子比特虚拟化平台。微软的量子计算机采用一系列磁捕获的带电粒子,而非谷歌公司所使用的超导线路。这使它能够采用一种特殊的量子

纠错技术来保护量子信息——该技术将物理量子比特排列成一个四维超立方体几何结构,从而保护逻辑量子。

邦代桑强调,从原理上来讲,这种方法能够使用更少的物理量子比特来编码更多的逻辑量子比特,因此效率可能更高。

与此同时,微软还宣布与原子计算公司联手打造世界上最强大的计算机,下一步力求实现1000个高性能逻辑量子比特。

此外,去年底,来自美国哈佛大学、QuEra等的科学家,在《自然》杂志刊登论文,展示了他们用中性原子体系研发的48个逻辑量子比特的量子计算原型机,并展示了对这些逻辑量子比特的逻辑操作。

玻色编码纠错成新宠

除构建逻辑量子比特外,也有科学家另辟蹊径,开发其他量子纠错技术。

据《新科学家》周刊网站报道,美国耶鲁大学的本杰明·布罗克及其同事,测试了一种名为玻色编码的纠错技术。这一方法巧妙地将错误分布在量子计算机的振动物上。该系统使用了可以取更多值的“高维量子比特”,因此在理论上具有更强大的纠错能力。

紧接着,今年9月,亚马逊量子计算团队展示了另一种名为“范德瓦耳斯”的玻色编码技术。与谷歌的研究结果类似,其错误率会随着系统的扩大而减少。

英国伦敦大学学院的丹·布朗表示,谷歌和微软的方法更侧重于主流的、基于量子比特的量子计算;而耶鲁和亚马逊研究团队引入的玻色编码则更新颖,且更具探索性。

此前,谷歌和IBM公司曾声称,实用的容错量子计算机最早于2029年面世。然而,布朗等人也指出,完全容错的系统可能仍遥不可及,需要科学家们上下求索。

科技日报北京10月9日电(记者张梦然)《自然》9日发表的最新论文中,美国科学家团队探索了量子回路的复杂性。他们新展示的一个量子处理器,已经能够执行现有超级计算机无法完成的计算任务。这项实验属于一个大规模深入研究的一部分,旨在调查量子处理器在背景噪声干扰下进行复杂计算的潜在能力,这些干扰一直是量子处理器展现能力时面临的重大挑战。

量子处理器是一类遵循量子力学规律进行高速数学和逻辑运算、存储及处理量子信息的物理装置。而当某个装置处理和计算的是量子信息、运行的是量子算法时,它就被称为量子计算机。量子处理器是量子计算机中的核心部件,量子计算机依靠它进行高速运算、处理量子信息。

但量子处理器有一个特点,就是对噪声(温度、磁场甚至宇宙辐射等环境干扰)非常敏感。这些噪声会严重干扰其在复杂任务中的表现,而这些任务正是经典超级计算机无法完成、需要量子计算机“大展身手”的舞台。较长时间以来,科学家一直很难准确探测噪声究竟会如何影响量子线路的性能。

此次,美国谷歌研究院科学家研究了量子处理器进入复杂计算输出领域的路径。他们使用了一种被称为随机线路取样的方法,来测试超导量子比特(量子计算机的基础单元)2D网格的保真度。随机线路取样是评估量子计算机与经典超级计算机表现的基准。

这些实验展示了两个阶段之间的转变:在第二个阶段即所谓“低噪声阶段”中,研究团队证实了量子计算机的计算复杂性,足以超越经典超级计算机。此外,他们还用67量子比特的“悬铃木”(Sycaamore)芯片展示了超越经典的性能。这一实验和理论工作证实了存在一种稳定的、计算上复杂的状态,这种状态可以利用当前的量子处理器达到。

研究团队表示,这一发现增进了人们对量子计算能力的理解。

噪声可说是“量子处理器之危”。因为量子处理器对噪声非常敏感,量子的微妙特性,使得即使最轻微的干扰,比如热量产生的杂散光子、周围电子设备的随机信号、物理振动,都能迅速摧毁量子叠加态,严重影响量子计算机的准确性。所以说,人们在构建实用量子计算机方面能否有所进展,归根结底要看一个关键点:能否“驯服”噪声。现在,在一个低噪声阶段,量子计算机被认为超越了经典超级计算机。这一突破,或是量子计算未来在药物发现、密码学、金融等诸多领域产生变革的开端。

有效排除噪声干扰
量子处理器计算能力强于经典超算

总编辑 潘点
环球科技24小时
24 Hours of Global Science and Technology

“赫拉”探测器“远征”被撞的小行星

科技日报讯(记者刘震)据美国趣味工程网站报道,当地时间10月7日,在美国佛罗里达州卡纳维拉尔角太空军基地,欧洲空间局的首个行星防御航天器“赫拉”搭乘美国SpaceX公司的“猎鹰9”号火箭升空。“赫拉”将于2026年抵达“双形态”小行星,对其开展深入研究,并探索如何保护人类免受未来可能出现的小行星威胁。

“双形态”小行星是更大的“双胞胎”小行星的卫星,也是目前唯一一颗因人类活动而改变轨道的天体。2022年,美国国家航空航天局“双小行星重定向测试”(DART)飞船曾故意撞击“双形态”,成功改变其轨道。

当时,“双形态”距离地球约1100万公里,直径约为160米,对地球并无威胁。撞击成功移动了这颗小行星,使其轨道周期缩短了33分钟,同时向太空抛撒了绵延数千公里的碎片。这场行星

防御测试是为了验证是否有可能改变小行星的运行轨迹,以应对未来可能出现的“小行星撞地球”的灾难性问题。

然而,科学家对这次撞击的影响仍然充满好奇:撞击造成的陨石坑究竟有多大?“双形态”的内部结构和精确质量又是如何?此外,虽然DART证明了技术的可行性,但仍需要更多信息来验证这项技术,并确定有效偏移一颗对地球有威胁的小行星所需的具体能量。

“赫拉”致力于解答这些问题。该航天器耗资3.63亿欧元,配备12台仪器,将携带两颗“立方体卫星”——“尤文图斯”和“米拉尼”。其中一颗卫星将尝试在“双形态”上着陆。它配备了低频雷达和重力仪,将探测小行星的结构并测量其重力场。基于视觉跟踪技术,“赫拉”还将尝试在小行星周围进行“自动驾驶”。

饮食限制与寿命延长关系复杂

科技日报北京10月9日电(记者张梦然)《自然》9日发表的一项研究发现,虽然饮食限制可以延长小鼠寿命,但其对健康的种种影响却未必与长寿同效。遗传因素对寿命长短的决定作用可能比饮食干预更大。这些发现进一步阐释了饮食限制与寿命之间的复杂关系。

饮食限制包括热量限制和间歇性禁食,其在改善人类健康和寿命方面潜力巨大。不过,不同饮食限制方式的有效性和安全性差异,已知信息却很少。

美国杰克逊实验室团队利用960只具有遗传多样性的雌性小鼠,研究了热量限制和间歇性禁食会如何影响健康与寿命。这些小鼠随机接受五种饮食中的一种:不限制获得食物,每周

禁食一天,每周连续禁食两天,热量限制在食物摄入基线的20%或40%。

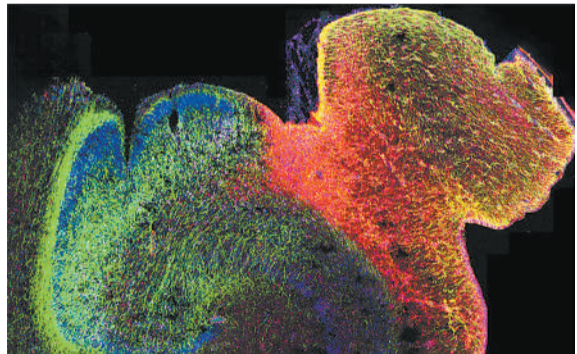
研究发现,所有饮食限制都能延长小鼠寿命,但只有热量限制会显著减缓衰老速度。无论小鼠体重如何,热量限制延长寿命的程度是一样的;而间歇性禁食的延长寿命作用,对干预前体重高的小鼠没有效果。在饮食组中,对延长寿命最有力的预测指标之一是,在实验压力下维持体重的能力。饮食限制能改善小鼠的代谢状况,但代谢改善与寿命延长不直接相关。虽然饮食限制会产生多重影响,但遗传背景对寿命的影响比饮食干预更大。

这一结果表明,对小鼠来说,饮食限制带来的益处并不一定会转化为长寿。今后仍需进一步探索热量限制是否能延长人类寿命。

DNA修饰图谱揭示人脑发育过程

科技日报北京10月9日电(记者张佳欣)由美国加州大学洛杉矶分校牵头的一项研究,揭示了人类大脑发育过

程中基因调控的演变方式,并展示了染色体的3D结构在其中发挥的关键作用。研究人员绘制了海马体和前额叶



正在发育的人类海马体的荧光图像。

图片来源:美国加州大学旧金山分校

皮质中DNA修饰的首张图谱,这两个大脑区域对学习、记忆和情绪调节至关重要,也与自闭症和精神分裂症等疾病相关。这项研究为早期大脑发育如何影响身心健康提供了新的见解。相关研究9日发表在《自然》杂志上。

为了绘制该图谱,研究人员采用了一种尖端测序方法,即单核甲基化测序和染色质构象捕获技术,能同时分析控制单个细胞基因表达的两个表现遗传机制。搞清这两个调控机制如何作用于影响发育的基因,是理解这一过程出错而导致神经和精神疾病的关键步骤。

研究人员分析了从中期妊娠到成年期的供体提供的超过53000个脑细胞,揭

示了关键发育窗口期间基因调控的重大变化,构建出人类大脑发育关键时间点发生的巨大遗传重组的全面图景。

研究人员表示,婴儿大脑发育最活跃的阶段发生在孕中期左右。被称为放射状胶质细胞的神经干细胞在第一和第二孕期已经产生了数十亿个神经元。这时,它们停止产生神经元并开始产生支持和保护神经元的胶质细胞。同时,新形成的神经元逐渐成熟,获得履行特定功能所需的特征,并形成突触连接以进行通信。

这一发现或有助于识别神经发育和神经精神疾病中有意义的遗传风险因素,对改进大脑类器官等基于干细胞的模型具有重要意义。

天文学家观测到最遥远旋转盘状星系

科技日报北京10月9日电(记者张梦然)据最新一期《皇家天文学会月刊》报道,天文学家发现了一个名为REB-

ELS-25的类银河系星系,这是迄今观测到的最遥远盘状星系。当宇宙仅有约7亿年历史时,REBELS-25就已经存在,并呈现

出与现代星系相似的高度有序结构。

通常情况下,人们所知的现代星系都与早期宇宙中的星系形态截然不同。早期的星系往往呈现无序、块状的状态,而REBELS-25则展现出了清晰的旋转模式和良好的结构。这一突破性发现是通过阿塔卡马大型毫米/亚毫米阵列(ALMA)完成的。

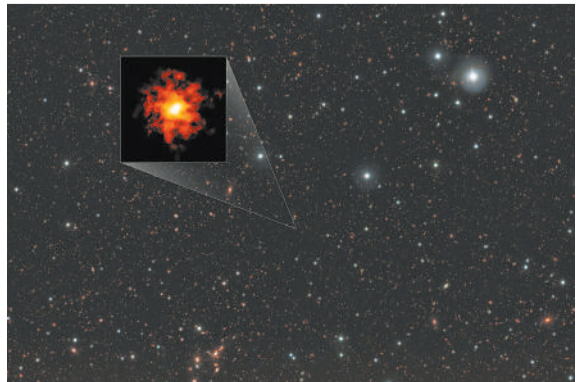
现有理论认为,一个星系要演化成像银河系这样具有螺旋臂等整齐结构的旋转圆盘,需要经历数十亿年的漫长过程。在这个过程中,原始的不规则星系会相互合并,逐渐形成更加平滑稳定的形态。然而,REBELS-25的存在对这个时间框架提出了质疑。

团队指出,REBELS-25不仅显示出

强烈的旋转特征,而且其结构与现今银河系极为相似,这对理解早期宇宙中星系如何迅速发展为今天这样的有序状态提出了挑战。团队经过初步观察旋转迹象以及更高分辨率的观测,最终证实了REBELS-25确实拥有前所未有的性质。

此外,数据还暗示REBELS-25可能具备更多类似银河系的复杂特征,比如中心区域可能存在细长的棒状结构,甚至可能是螺旋臂。不过仍需进一步的观察来验证。

REBELS-25作为迄今为止观测到的最早期具有如此成熟结构的星系之一,它的发现可能会促使人们重新评估早期星系形成的模型以及整个宇宙演化的历程,揭示更多关于宇宙历史的秘密。



ALMA观测到的REBELS-25星系,叠加在其他恒星和星系的红外图像上。
图片来源:ALMA