

# 中国科学报



CHINA SCIENCE DAILY

中国科学院主管 中国科学报社出版 国内统一连续出版物号 CN 11 - 0084 代号 1 - 82



扫二维码 看科学报 扫二维码 看科学网

新浪微博 <http://weibo.com/kexuebaob>

主办:中国科学院 中国工程院 国家自然科学基金委员会 中国科学技术协会

总第 8350 期 2023 年 9 月 19 日 星期二 今日 4 版

科学网 [www.science.net.cn](http://www.science.net.cn)

## 超导量子芯片演绎“庄周梦蝶”

■本报记者 韩扬眉

量子计算的前景令人期待,它在基础科学研究、新材料研发、类脑人工智能技术开发等领域有潜在应用价值。

中国科学院物理研究所固态量子信息与计算实验室研究员范桁、副研究员许凯,与中国科学院物理研究所量子计算研究中心研究员郑东宁、副主任工程师相忠诚等合作,研发出超 40 比特的一维超导量子芯片,以战国时期思想家和哲学家庄子命名,利用其成功模拟了“侯世达蝴蝶”能谱以及各种新奇拓扑零模式。相关研究成果近日发表于《物理评论快报》。

### “庄子”芯片诞生记

在科学家看来,大规模的量子计算正朝着实用化的方向发展,要想实现实用化,需要操纵精确、比特数多、相干时间长、效率足够高。在这个过程中,量子芯片的设计、制备、测控都至关重要。

相忠诚长期从事超导量子芯片制备,他告诉《中国科学报》,与传统芯片相比,量子芯片对外界环境的扰动非常敏感。

“量子芯片是一种非常脆弱的系统,稳定时间非常短。在芯片上运行量子算法就好像是在夏日里堆雪人,需要足够的速度,赶在雪融化前把雪人堆出来。通常超导量子芯片的相干时间大约在几十微秒量级,这意味着量子效应维持的时间只在一瞬,要在很短的相干时间尺度内精确执行完量子算法是比较困难。”相忠诚解释道。

借助中国科学院物理研究所位于北京怀柔的综合极端条件实验室的超导量子计算实验平台,郑东宁与相忠诚在器件设计和制备实践中反复摸索思考,不断改进和优化器件的设计方法和制备工艺,完成了 43 比特一维超导量子芯片的设计和制备,芯片中整体比特参数与设计值一致,总体退相干时间、制备良品率、量子状态易读性等都得到了大幅提升。部分比特退相

干时间达到百微秒量级。

在最新发表的研究中,他们设计并构建了多达 41 个量子比特的对角 AAH 模型的各种实例,并应用动态光谱技术测量了著名的“侯世达蝴蝶”能谱。由于对角 AAH 模型的拓扑特性,出现了“翅膀形状”的能隙,整个能谱图看起来就像一只翩翩起舞的蝴蝶,研究人员不禁联想到庄周梦蝶的故事,这也是该量子处理器名字的由来。

因为“庄子”处理器拥有足够多的量子比特,有限尺寸效应的影响被极大地抑制,“蝴蝶”身体细节中的分形结构和能带的分裂被清晰展示了出来。

### 零下 200 多摄氏度的实验

量子芯片是第一步,利用多个超导量子比特模拟各种量子效应也是当前人们关注的前沿研究。

量子芯片只有指甲盖大小。拿到芯片后,许凯和团队成员立刻开始对芯片进行测控,并开展量子模拟实验。

许凯告诉《中国科学报》:“量子模拟,就是通过调控量子芯片构建一些重要的多体模型,实现对真实物质或材料体系的各种新奇物理特性进行仿真和计算,以解决能源、材料等领域的系列重要问题。”

超导量子计算芯片需要在极低温环境中工作,以避免热量(噪声)对量子态的干扰。

研究人员将芯片封装进盒子中,并放入稀释制冷机中降温至 10mK,制冷机的温度比绝对零度(零下 273.15°C)仅高了 0.01°C,这种极低的温度可以使芯片转变为无损的超导态并有效抑制芯片周围的环境噪声和热噪声,从而呈现量子效应,让科研人员更好地操控量子效应。

操控芯片的过程并不轻松。在实验室,数十台仪器微波脉冲信号与“芯片”相连,研究人

员在自己开发的软件平台上编写程序控制仪器,对芯片发出“指令”,从而“操控”芯片。“指令”发出的时间达到了纳秒级。

“我们要非常精细化地优化每个量子比特的调控参数和它们之间的相互作用,这个过程需要准备两个月。”许凯说,通过使程序实现自动化参数搜索,进行自动化操控,未来的研究会更加高效。

由于“庄子”量子处理器超过 40 个量子比特,这足以让研究人员在这个重要的一维量子多体系统复杂的能带结构中捕捉到大量拓扑特征。使用由高度可控的 Floquet(周期驱动)调控技术辅助的超导量子处理器,研究人员提出了一种通用混合量子模拟方法来探索含噪声中等规模量子时代的量子拓扑系统。

### 前景广阔 需要人才

许凯和相忠诚及其所在团队长期致力于超导量子计算、量子模拟、量子器件制备等方面的研究,并取得了许多领先的成果。在他们看来,量子计算前景广阔,未来还有很长的路要走。

“虽然目前量子芯片只能完成一些特定任务,而且还未达到超越经典计算的量子优势,但是通过量子模拟的实验可以积累各种操控技术、探索和展示量子计算的各种应用场景,这对未来量子计算机的实现和应用都是非常有价值的。”许凯说。

在许凯看来,我国在量子计算方面与国际上最好的团队相比还存在一定的差距。量子计算是一个交叉学科,需要各方面的人才,他们期待新鲜血液加入量子团队。

“我们虽然需要建立全方位的生态,但还要尊重科学发展自然规律,在加快实验节奏的同时不能操之过急。”许凯说。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.080401>

## 九旬研究员的“约会古人类”之旅

91 岁的黄万波是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员。20 世纪 80 年代,由他牵头组成的三峡古生物考察队来到重庆巫山县,经过考察、试掘发现了龙骨坡遗址,发掘出疑似直立人下颌骨残段和上门齿等化石,遗址被列入第四批全国重点文物保护单位。

从 1984 年到 2012 年,龙骨坡遗址先后历经四次科学考古发掘。经国家文物局批准,今年 8 月,由重庆中国三峡博物馆主持,龙骨坡遗址启动第五阶段发掘。

在此次发掘中,黄万波和队员们一道住在遗址附近的巫山县庙宇镇,他扎根现场,为青年学者提供技术支持。“虽然我年龄偏大,但身体条件还可以,那就要继续为这份事业作贡献。”黄万波说。

图为 9 月 14 日,黄万波(左一)与考古发掘队队员在仔细观察刚出土的化石。

新华社记者唐奕 / 摄



## 古人类化石首次太空之旅受质疑

本报讯 目前,英国维珍银河公司的太空飞机 VSS Unity 成功载着 6 人和两块古人类化石完成了一趟太空之旅。

据《自然》报道,机上的 6 人分别是两名飞行员、一名教练以及 3 名乘客,成功发射和着陆无疑让他们兴奋。但另外两位特殊乘客——两块数十万年前生活在非洲南部地区古人类的遗骸对这趟旅程是否满意我们不得而知。不过,考古学家、古人类学家以及其他研究人员显然并不满意,他们强烈谴责了这种将珍贵古人类化石作为宣传噱头,不顾被破坏的风险将其送入太空的行为。

因为政府机构同意并签署了这项将古人类化石送入太空的项目,所以此事引发了人们对南非文化遗产保护方面的质疑。

事实上,自 20 世纪 80 年代以来,包括恐龙骨骼在内的其他化石早已被带入太空开展科学

研究,但古人类化石被送入太空还是第一次。这两块化石由现就职于美国国家地理学会的古人类学家 Lee Berger 团队在南非约翰内斯堡附近发现。

7 月,Berger 提出化石出口申请后,南非遗产资源管理局(SAHRA)批准了该申请,允许 Berger 将两块古人类化石运送到 VSS Unity 的发射场所在地——美国新墨西哥州,并搭乘太空飞机飞往太空。最终,化石由乘客之一、南非商人 Tim Nash 携带登机。

Berger 是以“可能会对化石进行科学研究”为由发起的申请,但他也在申请中表示,主要目的是同主流媒体合作,利用这一“千载难逢”的机会,提高人们对科学探索、人类起源以及南非的认识,展现南非在了解人类共同祖先方面的作用。

“以如此冷漠且不道德的方式对待祖先遗骸,并仅仅因为你能做到,就把化石随意送入太空,这不具有任何科学价值。”南非开普敦大学的地质学家 Robyn Pickering 说。Pickering 是其中一块化石年龄鉴定团队的成员。

“其中一块肩胛骨化石尤为珍贵,因为它是第一块被发现的南方古猿化石。申请书中陈述

的理由,并不能掩盖太空飞行会给化石带来的遗失或损坏风险。”Pickering 说。

开普敦大学的考古学家 Yonatan Sahn 说,将非洲化石送入太空让他想起了殖民时代和殖民民主时期的一些研究实践。那时,欧洲和美国的研究者强迫非洲机构屈从于他们的意志。

“作为一名非洲人、一家非洲研究机构的成员,对我来说,这基本上是古人类学研究过去在非洲丑陋一面的延续。”Sahn 说。(徐锐)



化石“搭乘”维珍银河公司的太空飞机 VSS Unity 飞向太空。图片来源:维珍银河公司

## 国际子午圈计划:构建全球空间环境探测网

■本报记者 倪思洁



IMCP 示意图。  
中国科学院国家空间科学中心供图

《中国科学报》:您说的第三步——IMCP,具体要研究哪些内容?

刘维宁:我们将研究空间天气的短期激发是否给大气留下长期“伤痕”,以及这些伤痕是否会反映全球变化的进程。

IMCP 以子午工程为核心,联合东经 120 度、西经 60 度子午圈沿线几十个国家和地区的千余台各类仪器,形成全球分布式的地基探测网络,对地球空间环境进行观测。

“目前,已经有 17 个国家和地区加入了 IMCP。”研讨会期间,IMCP 首席专家组成员、中国科学院国家空间科学中心研究员刘维宁在接受《中国科学报》专访时说。

### 把地球空间变成三维信息网格

《中国科学报》:从整体来看,IMCP 是如何布局的?

刘维宁:IMCP 不是凭空出现的,它是子午工程 I 期和 II 期的自然延续。我们希望通过四步构建出完整的空间环境探测网络。

第一步是子午工程 I 期。2008 年,中国科学家开始建设子午工程 I 期,它在国际上有着独特的创新性。过去,由于高纬度地区是受太阳活动影响较大的区域,空间环境研究一直聚焦高纬度地区。子午工程 I 期则是在中低纬度部署空间环境探测网络,关注空间天气如太阳风等在高纬度地区聚集之后,如何在中低纬度地区传播并造成影响。因此,子午工程 I 期可以被视为空间环境全球化研究的起点。

第二步是子午工程 II 期。2018 年,中国科学家启动了子午工程 II 期,它挑战了全球性研究的一个新维度。子午工程 II 期聚焦的是空间环境的全球变化,联合了一些很先进的观测设备,如圆环阵太阳射电成像望远镜等,观测范围覆盖从日冕、太阳风到磁层辐射带、中高层大气电离层、低层大气的全过程,研究链条将太阳表面到地球表面串联起来。这在国际上还没有先例。

第三步便是 IMCP。空间天气是全球性现象,它需要全球视野、全球参与。从 2010 年开始,来自多个国家的数百位科学家聚集在一起,制定了 IMCP。它将全维度覆盖地球子午圈,并借助地球自转,每 12 个小时对地球空间进行一次扫描成像。IMCP 的最终目标是把地球空间变成三维信息网格。在理想状态下,我们可以得到各个点上所有的空间环境信息。

IMCP 还有下一步计划,即希望研制相应的国际子午圈卫星,让它穿行在三维信息网格中。扫描成像过程中发现哪个地方可能有异常,卫星可以对准关键区域采样,探测空间天气事件是如何爆发的、耦合作用是怎样发生的。

《中国科学报》:目前大概有多少国家和地区参与到 IMCP 中?

刘维宁:已经有 17 个国家和地区的科学家加入进来,有些是以比较正式的方式加入的,有些则是以科学家个人身份加入的。

比如,法国、美国、加拿大的科学家都非常积极地参与进来。巴西和中国科学院此前就已经通过中巴空间天气联合实验室合作了近 10 年,我们和俄罗斯也有 20 多年的合作。此外,我们和亚太空间组织的合作也比较紧密,就 IMCP 进行了比较深入的探讨,而泰国是亚太空间组织的核心成员,未来,秘鲁、土耳其、伊朗都有可能加入 IMCP。

《中国科学报》:IMCP 是否有可能受到国际局势的影响?这次 IMCP 组织国际研讨会的初衷是什么?

刘维宁:在国际合作方面,我的态度比较乐观。2019 年,我们召开过一次国际研讨会,已经围绕 IMCP 形成了科学共识。这次,我们要围绕基于 IMCP 的空间天气最新进展和科学挑战、地基观测系统的部署和运行、空间天气建模和数据分析工具、未来发展路线等主题进行讨论。

《中国科学报》:在您的梦想中,IMCP 的未来是怎样的?

刘维宁:我们向往着这样一个未来,数千台 IMCP 的仪器把地球空间变为三维信息网格,数以十计的科学卫星穿行于信息网格。IMCP 就像一个地球的安全卫士,日夜守望,永不沉睡。

## 二维高性能浮栅晶体管存储器研究获进展

据新华社电 记者 9 月 18 日从华中科技大学了解到,该校材料成形与模具技术全国重点实验室教授翟天佑团队在二维高性能浮栅晶体管存储器方面取得重要进展。他们研制了一种具有边缘接触特征的新型二维浮栅晶体管器件,与现有商业闪存器件性能相比,其擦写速度、循环寿命等关键性能均有提升。相关研究成果近日发表于《自然 - 通讯》。

浮栅晶体管作为一种电荷存储器,是当前大容量固态存储器发展的核心元器件。然而,当前商业闪存内硅基浮栅存储器件所需的擦写时间在 10 微秒至 1 毫秒范围内,远低于计算单元 CPU 纳秒级的数据处理速度,且其循环耐久性约为 10 万次,难以满足频繁的数据交互。随着计算机数据吞吐量的爆发式增长,发展一种可兼顾高速、高循环耐久性的存储技术势在必行。

二维材料具有原子级厚度和无悬链键表面,在器件集成时可有效避免窄沟道效应和界面态

钉扎等问题,是实现高密度集成、高性能闪存器件的理想材料。然而,在此前的研究中,其数据擦写速度多异常缓慢,鲜有器件可同时实现高速和高循环耐久性。

面对这一挑战,翟天佑团队研制了一种具有边缘接触特征的新型二维浮栅晶体管器件,通过对传统金属 - 半导体接触区域内二硫化钼进行相变,使其由半导体相向金属相转变,使器件内金属 - 半导体接触类型由传统的 3D/2D 面接触过渡为具有原子级锐利界面的 2D/2D 型边缘接触,实现了擦写速度在 10 纳秒至 100 纳秒、循环耐久性超过 300 万次的高性能。

“通过对传统面接触电极与新型边缘接

触,该研究说明了优化制备二维浮栅存储器件内金属 - 半导体接触界面对改善其擦写速度、循环寿命等关键性能有重要作用。”翟天佑说。

该研究为发展高性能、高密度大容量存储器提供了新思路。(侯文坤)