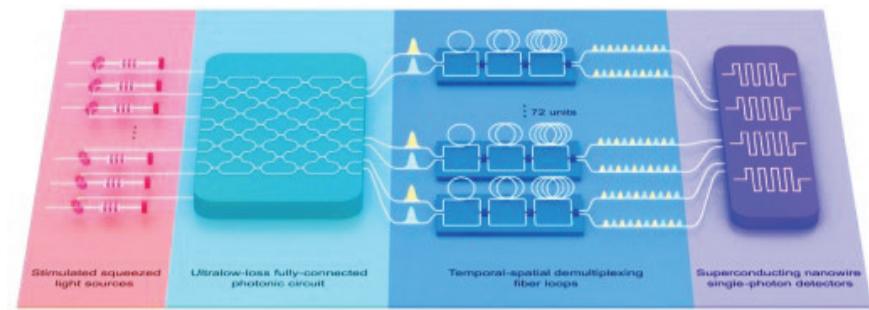


## 中国科大研制出“九章三号”光量子计算原型机

**本报讯** 中国科大中国科学院量子信息与量子科技创新研究院潘建伟、陆朝阳、刘乃乐等组成的研究团队与中国科学院上海微系统所、国家并行计算机工程技术研究中心合作，成功研制出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。科研人员设计了时空解复用的光子探测新方法，构建了高保真度的准光子数可分辨探测器，提升了光子操纵水平和量子计算复杂度。根据公开正式发表的最优经典精确采样算法，“九章三号”处理高斯玻色取样的速度比上一代“九章二号”提升100万倍。“九章三号”在百万分之一秒时间内所处理的最高复杂度的样本，需要当前最强的超级计算机“前沿”花费超过200亿年的时间。这一成果进一步巩固了我国在光量子计算领域的国际领先地位。

量子计算是后摩尔时代的一种新的计算范式，它在原理上具有超快的并行计算能力，可望通过特定量子算法在一些具有重大社会和经济价值的问题方面相比经典计算机实现指数级别的加速。因而，研制量子计算机是当前世界科技前沿的最大挑战之一。

2020年，中国科大团队成功构建76光子的“九章”光量子计算原型机，首次在国际上实现光学体系的“量子计算优越性”。2021年，中国科大团队进一步成功研制了113光子的可相位编程的“九章二号”和56比特的“祖冲之二号”量子计算原型机，使我国成为唯一在光学和超导两种技术路线都达到“量子



“九章三号”光量子计算原型机实验装置示意图

计算优越性”的国家。

中国科大团队在理论上首次发展包含光子全同性的新理论模型，实现了更精确的理论与实验的吻合；同时，发展了完备的贝叶斯验证和关联函数验证，全面排除了所有已知的经典仿冒算法，为量子计算优越性提供了进一步数据支撑。在技术上，研制了基于光纤时间延迟环的超导纳米线探测器，把多光子态分束到不同空间模式并通过延时把空间转化为时间，实现了准光子数可分辨的探测系统。这一系列创新使得研究团队首次实现了对255个光子的操作能力，极大地提升了光量子计算的复杂度，处理高斯玻色取样的速度比“九章二号”提升了一百万倍。在激烈的国际竞争角逐中，“九章三号”的实现进一步巩固了我国在光量子计算领域的国际领先地位。

进一步，在构建“九章”系列光量子计算原型机的基础上，中国科大研究团队揭示了高斯玻色取样和图论之间的数学联系，完成对稠密子图和Max-Haf两类具有实用价值的图论问题的求解，相比经典计算机精确模拟的速度快1.8亿倍。此外，又在国际上首次演示了无条件的多光子量子精密测量优势。

量子计算优越性的研究是一个复杂而富有挑战性的工作，量子计算硬件与经典算法之间存在着长期竞争。研究人员期待这项工作一方面能够激发更多关于经典算法模拟的研究工作，另一方面有助于逐步解决量子计算研究中的各种科学和工程挑战。

(合肥微尺度物质科学国家研究中心 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院)

**本报讯** 中国科大郭光灿院士团队孙方稳课题组和国家同步辐射实验室/核科学技术学院邹崇文课题组合作，制备基于二氧化钒相变薄膜的类脑神经元器件，并利用金刚石中氮-空位(NV)色心作为固态自旋量子传感器探测神经元突触在外部刺激下的动态连接，展示类脑神经系统中多通道信号传递和处理过程。这项研究成果近日发表于《科学进展》。

类脑神经元器件，即通常所说的类脑芯片，是指利用神经形态器件去模拟人脑中的神经元、突触等基本功能，再进一步将这些神经形态器件联结成人工神经网络，以模拟“大脑”的信息处理和存储等复杂功能。二氧化钒作为典型的氧化物量子材料，在近室温附近具有可逆的绝缘-金属相变，是制备高开关比突触器件的理想材料。本研究中课题组研究人员基于近十年二氧化钒的研究基础，利用氧化物分子束外延设备克服高纯相结构的单晶二氧化钒薄膜的制备瓶颈，生长高质量二氧化钒外延薄膜，并通过微纳加工制备生物神经元和突触阵列，实现电场调制和激光诱导下多通道二氧化钒双端器件的选择性电路导通，从而直接模拟神经元之间的突触动态连接过程。这种突触之间的连接体现在二氧化钒导电丝的形成和空间位置的选择性，并直接受到外加电场和作为外加刺激的激光信号的调制。

此外，对于神经元突触单元之间的动态连接过程，实验人员创新性利用金刚石NV色心作为固态自旋量子传感器探测了导电丝的形成和实时成像。由于二氧化钒相变体系的光热敏感性，相对于传统的显微成像技术，采用基于金刚石NV色心的量子传感方法避免了成像过程中测量系统激光信号的干扰，从而在研究外加刺激激光信号调制下突触单元的动态连接和实时成像方面显示出了独特优势。这种量子传感成像技术清晰的揭示基于二氧化钒类脑神经系统中多通道信号处理和传导途径与外在刺激之间的关联，为构筑大规模人工突触分层组织和神经形态结构提供直接的实验依据。

本文第一作者为中国科学院量子信息重点实验室博士后冯策和国家同步辐射实验室博士生李博文，通讯作者为孙方稳教授和邹崇文研究员。

(中国科学院量子信息重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息和量子科技创新研究院)

## 中国科大揭示超大质量黑洞吸积辐射能谱新规律

**本报讯** 中国科大天文学系蔡振翼副教授和王俊贤教授，通过研究类星体中心超大质量黑洞吸积的极紫外辐射能谱，发现其与类星体本征亮度无关，推翻该领域的传统认识，他们进一步发现类星体的平均极紫外能谱远比经典吸积盘理论预期更软，对经典吸积盘辐射模型给出了严重挑战，有力地支持了具有普遍盘风的吸积模型。10月5日，相关成果在线发表于《自然·天文学》。

类星体是一类非常明亮的河外天体，其中心的超大质量黑洞持续吞噬所处星系核心区域的气体。巨大的引力势在气体形成的吸积盘上得以释放，转化为热能和电磁辐射，使得星系核心异常明亮。类星体也因其超高的本征亮度而被称为宇宙中的“超级巨兽”。标准吸积盘理论表明，吸积盘产生著名的“大蓝包”辐射特征，理论预期峰值在极紫外波段。中心黑洞质量越大，理论预期吸积盘温度越低，极紫外能



黑洞吸积盘示意图。图源:pixabay

谱越软。观测上发现，越亮的类星体具有相对越弱的发射线，即著名的Baldwin效应，也似与经典吸积盘理论模型一致。

蔡振翼和王俊贤的研究直接聚焦于大样本类星体的光学-极紫外能谱，该项研究利用地面和空间的观测数据，控制极紫外探测不完

备度的影响，发现类星体的平均极紫外能谱不依赖于本征亮度，不仅表明本征亮度差异无法解释Baldwin效应，还显著挑战标准吸积盘理论预言。同时，作者给出Baldwin效应的可能新物理起源：越明亮的类星体，其吸积盘热涨落越小，从而无法产生较多的发射线区云团。

通过改正星系际介质吸收的影响，该研究还发现，类星体的极紫外平均能谱比所有前人的研究结果都更软，对标准吸积盘模型给出了进一步严重挑战。这个超软的、不依赖于本征亮度的极紫外能谱很好地契合具有盘风的吸积盘模型预言，表明类星体中普遍存在盘风。

该项研究结果对深入理解大质量黑洞吸积物理、黑洞质量增长、宇宙再电离、宽线区物理起源、极紫外尘埃消光等诸多方面具有广泛影响。未来，中国巡天空间望远镜等具备紫外探测能力的卫星项目将极大提升人们对类星体诸多物理本质的认识。

(物理学学院)

## 中国科大发展新方法实现材料自旋序的可逆调控

**本报讯** 中国科大杨金龙院士课题组李星星团队提出一种可逆的化学调控自旋的方法：通过在二维金属有机晶格中的有机配体上发生互变异构反应来调节该配体的自旋态，诱导相邻的过渡金属自旋之间的耦合序发生可逆转变，进而对材料的电学和磁学等性质进行调制。相关成果发表于《纳米快报》。

为实现高性能的自旋电子学器件，开发一种有效的方法来可逆地调控材料的自旋序是迫切需要的。在这项工作中，研究人员提出一种可逆的化学调控自旋的方法，即利用众所周知的内酰亚胺-内酰胺互变异构反应来诱导二维金属有机晶格中的磁相变。在原

理上，发生内酰亚胺-内酰胺互变异构反应前后，有机配体前线轨道的原子组成、空间电荷和相位分布、能级位置，甚至自旋态都可能发生变化，并对与之直接相连的过渡金属之间的磁耦合性产生显著的影响。

在这项工作中，研究人员主要关注其中的一种情况：通过内酰亚胺-内酰胺互变异构反应，有机连接体的自旋态从单重态转变为二重态，进而诱导相邻过渡金属之间的磁耦合序发生从反铁磁到亚铁磁的转变。

研究人员通过理论设计的三种二维金属有机晶格验证了这种化学调控自旋方法的可行性。以铬和2,5位羟基取代的吡嗪构造的

金属有机晶格为例，在内酰亚胺-内酰胺互变异构反应前后，该金属有机晶格从反铁磁基态转变为亚铁磁基态，这种转变进一步诱导材料的电子结构从无自旋极化的普通半导体转变为价带和导带具有100%自旋极化并且极化方向完全相反的双极磁性半导体。同时，电子带隙和载流子有效质量也发生了显著变化。此外，材料的磁各向异性能在异构反应前后增强了5倍。

中国科大化学物理系博士生李俊瑶为第一作者，化学与材料科学学院李星星副教授和杨金龙院士为共同通讯作者。

(化学与材料科学学院)

## 中国科大实现原位溶液磁共振谱测量

**本报讯** 中国科大中国科学院微观磁共振重点实验室杜江峰院士、石发展、孔飞等人利用单个纳米金刚石内部的氮-空位(NV)色心进行量子传感，克服颗粒随机转动问题，在原位条件下探测到溶液中顺磁离子的磁共振谱。该项研究成果发表于《自然·通讯》。

在生理原位条件下对分子进行探测解析，是生命科学领域的一个重要目标。只有在生理原位条件下对生物分子进行观察，才能获知其实现生理功能时的构象变化等信息，帮助解决细胞信号通路、药物靶点识别等重要问题。

此次研究中，研究团队设计幅度调制序

列，用这种序列会在NV色心上产生一系列等间隔的能级，间隔大小只由调制频率决定，与有效操控场强度无关。当NV色心的能级与被测目标的能级匹配时，便会发生共振，使NV色心的状态发生改变。通过扫描调制频率，便可以获取目标的磁共振谱，谱峰位置不再受NV色心的空间取向影响。进一步地在原位条件下，对纳米金刚石所处溶液环境中的离子进行顺磁共振谱测量，结果从原理上证明了用纳米金刚石中的NV色心实现细胞内生理原位磁共振探测是可行的。

本工作所探测的氧钒离子本身具有生物学功能，用运动的单个纳米金刚石所测到顺

磁共振谱可分析获取氧钒离子的超精细常数，今后有可能用于推断氧钒离子所处的局部环境。未来通过改善微波辐射结构效率、提升纳米金刚石性质等方法，将能进一步提升测量速度，将这一方法推向实际应用。该研究团队此前已经实现固态环境单分子磁共振检测，通过技术提升，将检测条件放宽至水溶液环境，这项工作又进一步推进至原位环境，该方向系统性的研究成果逐步向着实现细胞原位的单分子尺度微观共振迈进。

中国科学院微观磁共振重点实验室博士研究生秦卓杨、王哲成为该论文的共同第一作者，杜江峰院士、石发展教授和孔飞特任研究员为共同通讯作者。

(中国科学院微观磁共振重点实验室 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院)

## 科研简讯

○近日，美国计算机学会公布获得首届戈登·贝尔气候建模奖提名的研究工作名单。中国科大在新一代神威超级计算机上的应用成果获得提名。

○近日，中国科大赵纯教授带领的大气科学先进计算实验成功构建了全球变网格大气物理化学耦合模拟框架，并以大气沙尘为例开展了相关研究。研究成果发表于《Journal of Advances in Modeling Earth Systems》。

○近日，中国科大工程科学学院机器人与智能装备研究所董二宝副教授课题组发布了首个面向高空作业机器人的开源多模态感知数据集USTC FLICAR。该数据集在线发表于《The International Journal of Robotics Research》。

○近日，中国科大张世武教授、金虎副教授与王柳特任教授基于手指皮肤非均匀形变机制和手部精细动作康复运动机制，以高功重比形状记忆合金弹簧为驱动，提出了一种具备精细动作训练的便携式柔性康复手套机器人，有望服务于全球数千万手功能障碍患者的精细动作康复与日常生活辅助。10月5日，相关成果在线发表于《自然·机器智能》。

**中国科大成功探测人工神经元突触的量子成像**