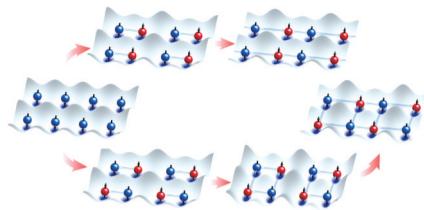


## 中国科大成功制备出可扩展多原子纠缠态

**本报讯** 中国科大潘建伟院士、苑震生教授等与清华大学马雄峰副教授、复旦大学周游副研究员合作，使用光晶格中束缚的超冷原子，通过制备二维原子阵列、产生原子比特纠缠对、连接纠缠对的分步扩展方式制备了多原子纠缠态，并通过显微技术调控和观测了其纠缠性质，向制备和测控大规模中性原子纠缠态迈出重要一步。这项研究成果近日发表于《物理评论快报》。

量子纠缠是量子计算的核心资源，量子计算的能力将随纠缠比特数目的增长呈指数增长。因而，大规模纠缠态的制备、测量和相干操控是该研究领域的核心问题。在实现量子比特的众多物理体系中，光晶格中的超冷原子比特具备良好的相干性、可扩展性和高精度的量子操控性，成为实现量子信息处理的理想物理体系之一。

自2010年开始，中国科大研究团队系统



一维、二维纠缠态的实验制备流程示意图

地研究了光晶格中原子的多体相变、原子相互作用、熵分布力学等，并于2020年实现纠缠保真度为99.3%的1000多对原子纠缠态。但由于技术上对单原子比特操控能力仍然不足、光晶格相位漂移较大、缺乏多原子纠缠判定的有效方法，进一步连接纠缠对和测控多原子纠缠态遇到了瓶颈问题。

为解决上述问题，潘建伟、苑震生团队研

发了一种新型的等臂交叉束干涉、自旋依赖超晶格系统，并集成了自主研发的单格点分辨、宽波段消色差的量子气体显微镜和多套用于光斑形状编辑的数字微镜，兼具多原子全局并行和局域单格点测控的能力，且实现了晶格相位长期稳定。

在此基础上，该团队取得了填充率为99.2%的原子二维阵列的制备及原位观测，选择其中49对原子制备了纠缠贝尔态，平均保真度为95.6%，寿命为2.2秒。

进一步，他们使用纠缠门将相邻纠缠对连接起来，制备了10原子一维纠缠链和8原子二维纠缠块，首次突破了光晶格中原子纠缠对连接和多原子纠缠判定的瓶颈，为开展更大规模的光晶格量子计算和模拟打下基础。

中国科大博士后章维勇、博士生何明根和博士后孙辉为论文的共同第一作者。

(王敏)

## 中国科大提出纳米胶束电解质新思路

**本报讯** 近日，中国科大闫立峰教授课题组通过利用两亲性甲基脲分子，设计一种新型结构的水基纳米胶束电解质。这一工作打破以往对于电解质连续溶剂相的认识，通过纳米胶束结构包裹了自由移动的离子，建立了局部/界面相互作用网络，通过金属离子的控制释放，有效地维持了离子的三维护散形式和有利的界面成核反应，实现了金属结晶和电极副反应的有效抑制。相关研究成果率先在锌-锰电池体系中得到了证实，并发表于《美国化学会志》。

锌离子电池由于锌阳极的高理论比容量、高储量、成本低、氧化还原电位低等优势，被认为是下一代清洁能源存储的有前途的候选者。如何通过电解质的设计优化来调控锌电池的电化学性能是至关重要的问题。

此次研究中，研究人员提出一种独特的纳米胶束电解质设计思路，由  $ZnSO_4$ 、

$MnSO_4$  和高浓度甲基脲(Mu)分子通过自组装策略构建，水溶剂环境被划分为亲水区和疏水区，阳离子和阴离子则被封装到纳米域中。纳米胶束阻断了连续的水基体相，打破了水分子之间氢键网络并在胶束内部和胶束/水界面上重构了局部氢键。此外，Mu分子参与了  $Zn^{2+}/Mn^{2+}$  离子的溶剂鞘结构，排斥了溶剂化水分子，降低了脱溶剂化能垒，抑制了水分解反应。更重要的是， $Zn^{2+}/Mn^{2+}$  离子可以可控地从胶束团簇中释放出来，以三维护散方式扩散并在电极表面均匀沉积。此外，在锌阳极表面一种新的固体电解质界面保护层  $Zn_x(Mu)_ySO_4 \cdot nH_2O$  得以原位生成，以避免水分子持续渗入造成的锌腐蚀。

动态光散射结果表明电解质 A3Mu 中存在约 14nm 左右的纳米胶束，核磁结果证实了胶束内部的多重氢键相互作用，DFT 计算结

果也表明  $Zn^{2+}/Mn^{2+}$  和 Mu 分子上的羧基和具有更强的结合能力，进而有利于进入到胶束内核中，减少溶剂鞘结构中的水分子数。此外，红外、拉曼光谱结果也识别到了  $SO_4^{2-}$  阴离子扭曲的正四面体结构，可能是由于胶束内部拥挤的空间和电荷-偶极相互作用造成

的，这些结果表明了胶束电解质的成功构建。得益于胶束电解质内部氢键的重构，电解质和碳布正极界面接触角降低， $MnO_2/Mn^{2+}$  成核电位降低，同时由于  $Mn^{2+}$  的控制释放特性，生成了反应可逆性更高，结构更加疏松的二氧化锰颗粒。在不同 SOC 状态下，非原位 SEM、XPS、Raman、XRD 等测试方法核实了高度可逆的二电子转化反应。利用二电子反应的锌锰电池显示出前所未有的高能量密度 800.4 Wh kg<sup>-1</sup> (基于正极活性材料) 以及高达 1.87 V 的放电电压。

中国科大化学与材料科学学院博士生邓永琦为该文章的第一作者，闫立峰教授为通讯作者。

(化学与材料科学学院)

## 中国科大提出金属电子梭催化新范式

**本报讯** 中国科大黄汉民教授课题组提出了“金属电子梭催化”的新范式，并利用该范式开拓性地实现了首例非活化烯烃的双烷基化反应。8月21日，相关研究结果在线发表于《自然·催化》。

过渡金属催化的碳-碳成键反应是当代有机化学研究领域的重要组成部分，其中，建立在多种碳-金属活性中间体相互转化基础上的  $C(sp^2)-C(sp^2)$  成键反应得到了长足发展，该研究于2010年获得诺贝尔化学奖。

针对烯烃双官能化反应中的挑战，研究团队经过长期研究积累和大量实验探索，提出了“金属电子梭”催化新范式，即利用金属催化剂作为电子梭来引发和淬灭自由基，借助自由基对不饱和键的加成实现多个烷基碳碳键的构建，从而避免不稳定烷基金属中间体的产生。在该研究工作中，研究人员使

用镍催化剂作为电子梭，同时使用氮氧缩醛和卤代烃作为烷基化试剂，实现了非活化烯烃的双烷基化反应。该方法对简单烯烃、非活化烯烃以及多取代烯烃等均具有很好的兼容性，同时多种类型的烷基化试剂均能够在该反应条件下适用，直接使用二级胺和多聚甲醛也能够替代氮氧缩醛进行四组分反应，进一步拓宽了反应的应用范围。

该反应提供了一种合成氟代和非氟代  $\delta$ -氨基酸等非天然氨基酸衍生物的有效方法，同时，反应引入了多种官能团，能够进行进一步转化，合成更有价值的复杂分子。例如，通过对反应产物进行还原环化，能够快速构建广泛存在于药物分子中的哌啶类化合物。

利用这种转化策略，研究人员合成了药物分子 Mepazine 以及相应的氟代衍生物，充分证明了反应的实用价值。

值得一提的是，该反应不仅具有较高的合成应用价值，同时也作为金属电子梭催化范式的一个实例，展现了该催化范式广阔的发展前景。对金属电子梭催化范式的进一步研究有望引领开发新的有机化学成键方法，并对天然产物、药物和功能分子合成等领域的发展起到推动作用。

该论文的共同第一作者是中国科大博士研究生饶长青和张天泽，黄汉民教授为通讯作者。

(合肥微尺度物质科学国家研究中心 化学与材料科学学院)

很长；结合观测到的部分掩食特征，这表明该掩食吸收体是团块化的，由许多小云团组成。此外，他们发现，XMM RGS 设备的高分辨率光谱所探测到的两层较稀薄的吸收体，可能是从主要掩食云团上碎裂剥离下来的碎片，类似于彗星周围的星星。

研究团队因此得以成功将整个奇妙的掩食系统详尽地刻画出来：一个团块化的、多相的云团簇，它很可能是吸积盘内区（小于 1000 倍黑洞引力半径）吹出来的“盘风”的一部分，以约 10000 km/s 的速度穿过我们的视线方向，并以约 5000 km/s 的速度远离中心黑洞；同时，冕区的尺寸非常小，约为 10 倍引力半径。

该工作展示 X 射线掩食事件蕴含的丰富信息，可以极大促进人们对于超大质量黑洞周围气体的认识，指出“流量-硬度比”图对于分析掩食事件有重要意义，为搜寻、解读更多的掩食事件提供一种崭新思路。论文第一作者为博士研究生康嘉来。

(天文学系)

## 中国科大揭示 NGC 6814 中奇妙的 X 射线掩食吸收体

**本报讯** 中国科大天文学系王俊贤教授团队在对活动星系 NGC 6814 中的 X 射线掩食事件的研究中，揭示了一个奇妙的块状的、多组分的掩食吸收体。8月23日，研究成果发表于《皇家天文学会月刊》。

活动星系核是星系中心的超大质量黑洞吸积系统，有非常强的 X 射线辐射；这些高能辐射被认为起源于靠近黑洞的一个高温、致密的区域——X 射线冕区。当吸收云团从观测者视线方向经过时，冕区被云团（部分或完全）遮蔽，使得观测到的 X 射线流量、谱型发生显著变化，这被称为 X 射线掩食事件。X 射线掩食事件携带了丰富的时变信息，使得观测者有机会动态地描绘出整个系

统，限定冕区和掩食云团的性质。

王俊贤团队首次将活动星系核本征的“变亮变暗”光变行为引入到对掩食事件的分析中，通过绘制“流量-硬度比”图来对光谱分析提供额外的独立限制。研究团队将这一技术应用于 XMM-Newton 望远镜在 NGC 6814 中捕获到的一次高质量掩食事件，成功揭示掩食云团中存在部分覆盖的“康普顿厚”的额外吸收成分——这些吸收体如此光厚以至于将所遮蔽的 X 射线宽波段辐射吸收殆尽，因此仅凭光谱分析无法揭示出其存在。

同时，研究团队发现，在 NGC 6814 的掩食事件中，进出掩食很快而掩食持续时间

分别来自于两个不同的自旋通道。利用 BMM 分子构造单分子器件，并在左右电极施加温度梯度后，通过门压调节可以实现大小相等但方向相反的自旋上和自旋下电流，即产生无电荷流伴随的纯自旋流。相关成果发表于《纳米快报》。

○中国科大合肥微尺度物质科学国家研

究中心史朝为研究团队以氟离子通道蛋白 Fluc-Ecl1 作为研究对象，结合氘代和 19F 定点标记方法，发展并优化膜蛋白固体核磁共振检测及氟检测研究方案，为膜蛋白核磁共振研究提供新思路。8月23日，研究成果发表于《科学进展》。

○中国科大孙金华教授和王青松研究员

**本报讯** 9月4日，中国科大生命科学与医学部孙林峰教授团队在《自然·植物》上发表研究论文，报道植物中首个脱落酸外排蛋白 ABCG25 单独的、与底物脱落酸结合的，以及与 ATP 结合的高分辨率结构，并结合生化功能实验阐释 ABCG25 蛋白的工作机制，加深人们对脱落酸运输和信号传导过程的理解。

脱落酸(ABA)在植物生长发育过程中起着至关重要的作用，如调节种子萌发和休眠、根生长、气孔关闭和叶片衰老等。同时，脱落酸也是植物适应各种非生物或生物胁迫的关键激素。自20世纪60年代ABA被首次发现以来，其信号通路受到广泛研究，确定了关键的ABA受体、调控因子及其相互作用网络。局部ABA的浓度对于启动信号级联及其作用发挥至关重要，并受到运输途径的严格调控。研究发现，植物中同时存在ABA的短距离和长距离运输过程，包括根和叶片中ABA的局部分布，以及根-茎尖、茎尖-根、叶片-种子等的长距离运输。ABA的运输过程也受到越来越多的关注。位于细胞膜上的转运蛋白是ABA外排过程所必需的。此前已经鉴定了包括ABCG25在内的多个ABA跨膜转运蛋白，但是仍然缺乏分子机制方面的阐释。

该研究中，孙林峰团队针对 ABCG25 展开研究。ABCG25 是第一个通过ABA敏感表型遗传筛选被鉴定出的ABA外排蛋白。它主要在维管组织中表达，也在胚乳中表达，与另一种ABA外排基因 ABCG31一起，将ABA从胚乳输出到胚中，调节种子萌发等。团队首先建立了一套基于放射性同位素和昆虫 Sf9 细胞的ABA外排功能检测的生化体系，证明了 ABCG25 具有ABA外排活性。此外，团队还测定了 ABCG25 蛋白水解 ATP 的酶活，发现其底物酶活很高，并可以被底物ABA进一步促进。在功能分析的同时，团队利用冷冻电镜单颗粒重构技术，成功解析了 ABCG25 蛋白单独的 (apo-form)，与底物ABA结合，以及与ATP结合的三个高分辨率结构。ABCG25 蛋白形成了同源二聚体，呈现经典的ABC转运蛋白超家族的结构特点，每个单体由跨膜结构域TMD 和核苷酸结合结构域NBD组成。在 apo-form 和ABA结合状态下，整体结构采取朝向细胞内侧开放的构象，两个跨膜结构域TMD 之间形成一个向内开口的锥形空腔。在底物ABA结合的结构中，ABA分子结合在该空腔中。而在ATP结合的结构中，核苷酸的结合导致 ABCG25 蛋白的两个NBD 相互靠近并关闭，构象变化通过 NBD 的 E-helix 和 TMD 的 CnH、CpH 形成的三螺旋束传递到 TMD。跨膜螺旋的位移导致挤压底物结合空腔，推动底物分子进行移位，胞外侧闸门瞬间打开，底物释放到胞外。

通过结构分析，团队鉴定了参与ABA结合的关键氨基酸残基，并结合转运实验和酶活性检测，验证了这些氨基酸残基对于脱落酸结合和转运过程的影响，并提出了 ABCG25 介导脱落酸外排的机制模型。综上，该研究阐释了 ABCG25 识别、运输脱落酸的工作过程，为进一步理解植物脱落酸信号通路奠定了重要基础。

中国科大生命科学与医学部应伟、廖靓欢和魏宏为该论文共同第一作者，生命科学与医学部刘欣副教授、孙林峰教授为共同通讯作者。

(生命科学与医学部)

团队与暨南大学郭团教授团队在锂离子电池热失控光纤检测早期预警领域取得重要成果，他们成功研制出可植入电池内部的高精度、多模态集成光纤器，率先实现了对商业化锂电池热失控全过程的精准分析与早期预警。8月29日，相关研究成果在线发表于《自然·通讯》。

## 中国科大在植物脱落酸运输机制研究中取得重要进展