



## 研究进展

## 中国科大在准二维kagome晶格新奇电子特性研究方面取得重要进展

近期，合肥微尺度物质科学国家研究中心国际功能材料量子设计中心、中科院强耦合量子材料物理重点实验室曾长淦教授研究组及其合作者在kagome晶格新奇物性研究方面取得重要进展，以层状材料 $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ 为平台首次在kagome晶格体系中实验观察到近乎无色散的平带电子结构，并结合理论阐明了其高温铁磁序的机制。相关结果以封面文章的形式近日发表在权威物理期刊《Phys. Rev. Lett.》上，并被刊物编辑部评选为Editors' Suggestion。

根据固体电子能带理论，通过设计固体中原子的排列可以调控电子的行为，进而实现各种非平庸的能带结构。平带，即高简并无色散的电子态。平带中的电子具有很重的质量。在理想平带中，电子动能淬灭，电子间的库仑相互作用占主导地位。由于其特殊性，理论预言平带可能导致各种激动人心的物理效应，包括铁磁性、高温分数量子霍尔效应、Wigner晶体、玻色-爱因斯坦凝聚、以及高温超导等。然而迄今为止，对实际材料平带的实验验证及平带物理效应的展示仍然是一个巨大的挑战。

曾长淦教授研究团队与来自韩国汉阳大学的中心访问学者Jun-Hyung Cho教授、国家同步辐射实验室孙喆教授等合作，结合扫描隧道显微术、角分辨光电子能谱、第一性原理计算等手段，证实准二维kagome化合物 $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ 确实存在平带电子结构。该研究团队对 $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ 的研究表明，在Fe原子所形成的kagome晶格中，电子布洛赫波函数的相消干涉能够有效地将电子束缚在kagome晶格的六角形中，从而导致几近无色散的平带。另一方面，该研究团队进一步证实了 $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ 具有高温铁磁序，并归因于电子关联和kagome晶格的协同作用：kagome平带导致的高态密度以及较大的在位库仑能使得铁磁序的Stoner判据得以满足。从实空间看，电子间较强的在位库仑相互作用使得束缚在六角形中的电子发生自旋极化，而六角形分子内交换作用产生的局域极化自旋磁矩通过共享Fe原子的六角形网格耦合起来，从而导致长程铁磁序。

该研究不仅在实验上第一次展示了实际kagome晶格确实可以存在平带电子结构，而且为探索晶格驱动长程铁磁序提供了新思路。未来对平带电子结构的进一步调控，比如调节费米面位置，将有可能实现其它在拓扑量子计算方面有应用前景的新奇量子态。



## 国家研究中心简讯

## ◆中国科大成功举办“第八届国际量子密码会议”

8月27日至31日，在“墨子号”量子科学实验卫星成功发射2周年和中国科大即将迎来60周年校庆之际，由中国科大主办的“第八届国际量子密码会议(QCrypt2018)”在上海研究院举行。大会吸引了来自美国、德国、英国、澳大利亚、加拿大、日本等20个国家约500余位量子通信与量子信息研究领域知名专家学者参会，包括量子密码的创始人Charles Bennett、Gilles Brassard、Artur Ekert、图灵奖获得者姚期智院士等人，达到历届参会人数之最。



本届会议内容涵盖与量子信息相关的众多研究领域，包括量子密码、量子通信器件、量子物理基础检验和量子计算等。在为期五天的会议中，共举行了4场辅导性讲座、7场邀请报告、3场专题讨论会、26场口头报告，并有150多篇论文进行了墙报交流。各国科学家介绍了最新进展：俄罗斯将在全境建设跨欧亚大陆的量子密钥分发网络；欧洲、韩国在制定量子通信的基础设施建设规划；美国、欧洲、日本等都在推进量子通信卫星计划。来自德国马普光子学研究所的Christoph Marquard教授在开幕式做大会报告时特别表示，“感谢中国同事的工作！你们唤醒了许多国家，让我们意识到发展量子通信的价值。”

在会议常规日程之外，大会联合墨子沙龙将每天晚上的学术活动向普通公众开放。

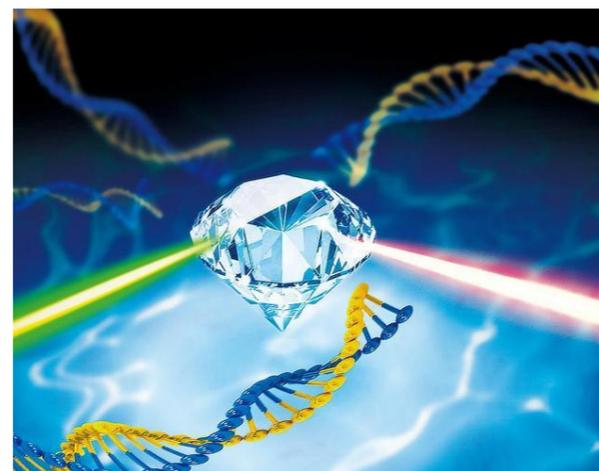
本次国际会议展示了我国及国际学者在量子通信前沿领域的最新研究成果，研讨该领域的最新发展趋势，讨论产业化应用前景，这有利于开展更广泛的国际学术交流与合作，扩大我国在该领域的国际影响，促进该领域的进一步发展。

合肥微尺度物质科学国家研究中心  
HEFEI NATIONAL LABORATORY FOR PHYSICAL SCIENCES AT THE MICROSACLE

2018年第9期 (总第158期)

合肥微尺度物质科学国家研究中心办公室 0551-63600458 hfnloff2@ustc.edu.cn

## 中国科大首次在水溶液环境中实现单个生物分子磁共振谱探测



基于钻石传感器实现水溶液中的DNA分子探测

中国科学技术大学杜江峰院士领衔的研究团队运用量子技术首次在水溶液环境中探测到单个DNA分子的磁共振谱，从而向运用单分子磁共振研究生物分子在生理环境中的构像和分子间相互作用迈出了重要一步。该工作发表在2018年9月出版的《自然-方法》上[Nature Methods 15, 697–699 (2018)]，并被选为五篇封面标题文章之一。

杜江峰院士团队利用钻石中的氮-空位点缺陷作为量子传感器（以下简称“钻石传感器”），它在绿色激光和特定频率微波脉冲的调制下，形成对磁信号敏感的量子干涉仪，将微弱的磁信号放大为量子相位信号，并利用光学手段进行读出。同时，由于钻石传感器的尺寸在原子量级，可以实现纳米尺度的空间分辨能力。因此，钻石传感器可以实现单个分子探测，并能通过磁共振谱学解析其结构和动力学等信息。

杜江峰院士领导的团队此前的研究已经表明，基于钻石传感器能够探测单个蛋白质分子的磁共振谱[Science 347, 1135–1138 (2015)]，实现了单分子磁共振的首次突破。该实验中的蛋白质分子被生物胶固定在钻石表面。然而，水溶液环境是生物分子保持生物活性并进行生命活动所必须的环境，在水溶液环境中进行单分子的磁共振探测是研究其生物功能的必经之路。杜江峰院士团队与南加州大学覃智峰教授合作，以双链DNA分子作为探测对象，此DNA分子被放置在钻石表面并填充水溶液以保持其生理状态。首先，为了防止DNA分子在溶液中的扩散，该团队设计了一套化学反应流程，将DNA分子的一条链一端通过氨基修饰，化学键合“拴”在钻石表面，这也保证了DNA分子在钻石表面的均匀分布；同时将一种常用的氮氧自由基顺磁标签标记到DNA的另一条链，其可以在水溶液中与键合链自由的复合-解链。其次，得益于钻石微纳技术的发展，加工得到钻石纳米柱，同时改进微波操控技术，使得探测效率大幅提升，能够快速测得单分子磁共振谱，信号获取时间从小时量级缩短到数分钟。最终，该团队成功地获取了水溶液环境下单个DNA分子的磁共振谱，并通过谱分析得到其动力学和环境特征信息。通过谱线展宽和仿真计算得到该DNA分子自由基的运动特征时间信息；通过谱线超精细分裂大小得到该DNA分子所处的疏水性环境信息。

该工作为在水溶液环境中研究单个生物分子的结构和功能提供一种新的技术方法，是朝向细胞原位单分子研究迈出的重要一步。以此为基础，和扫描探针、梯度磁场等技术相结合，未来可将该技术应用于生命科学领域的单分子成像、结构解析和动力学检测，从单分子层面理解生物特性和生命功能，具有广泛的应用前景。审稿人评述该工作：“单分子技术是当代生命科学的发展至关重要的一项技术，实现单个DNA分子的探测及其动力学行为研究将引起相关领域科学家很大的兴趣”。

中国科学院微观磁共振重点实验室石发展、孔飞和赵鹏举为该论文并列第一作者，杜江峰院士和覃智峰教授为该文通讯作者。此项研究得到了科技部、国家自然科学基金委、中国科学院和安徽省的资助。