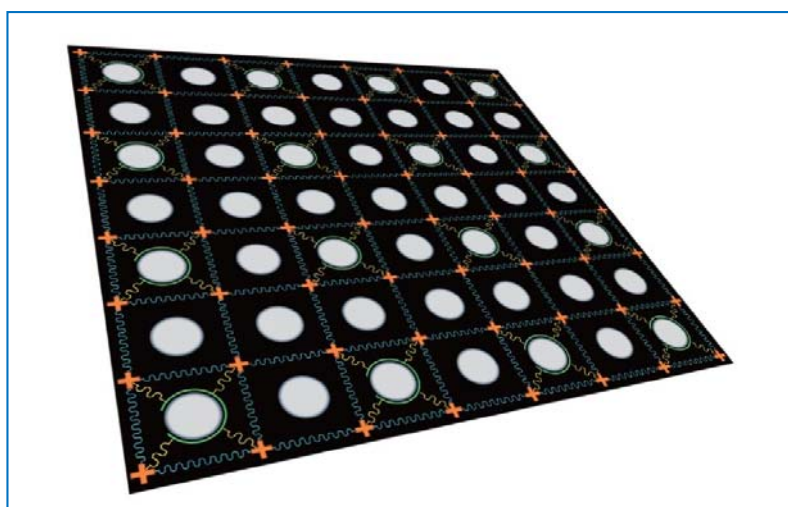




中国科大成功研制62比特可编程超导量子计算处理器



图注：二维超导量子比特芯片示意图，每个橘色十字代表一个量子比特。

中国科大中科院量子信息与量子科技创新研究院（以下简称量子创新研究院）潘建伟、朱晓波、彭承志等组成的研究团队，成功研制了62比特可编程超导量子计算原型机“祖冲之号”，并在此基础上实现了可编程的二维量子行走。相关研究成果于2021年5月7日在线发表在国际学术期刊《科学》杂志上。

量子计算机在原理上具有超快的并行计算能力，可望通过特定算法在一些具有重大社会和经济价值的问题方面（如密码破译、大数据优化、材料设计、药物分析等）相比经典计算机实现指数级别的加速。当前，量子计算机研制作为世界科技前沿的重大挑战之一，已经成为欧美各发达国家竞相角逐的焦点。超导量子计算，作为最有希望实现可扩展量子计算的候选者之一，其核心目标是如何同步地增加所集成的量子比特数目以及提升超导量子比特性能，从而能够高精度相干操控更多的量子比特，实现对特定问题处理速度上的指数加速，并最终应用于实际问题中。

潘建伟、朱晓波、彭承志等长期瞄准超导量子计算的上述核心目标，取得了一系列重要进展。2019年初，在一维链结构12比特超导量子芯片上实现了12个量子比特纠缠“簇态”的制备，保真度达到70%（*Phys. Rev. Lett.* 122, 110501 (2019)），打破了之前创造的10个超导量子比特纠缠的纪录。同时，该团队开创性地将超导量子比特应用到量子行走的研究中，为未来多体物理现象的模拟以及利用量子行走进行通用量子计算的研究奠定了基础（*Science* 364, 753 (2019)）。随后，团队将芯片结构从一维扩展到准二维，制备出包含24个比特的高性能超导量子处理器，并首次在固态量子计算系统中，实现了超过20比特的高精度量子相干调控（*Phys. Rev. Lett.* 123, 050502 (2019)）。

近期，该团队在自主研发二维结构超导量子比特芯片的基础上，成功构建了国际上超导量子比特数目最多、包含62个比特的可编程超导量子计算原型机“祖冲之号”，并在该系统上成功进行了二维可编程量子行走的演示。研究团队在二维结构的超导量子比特芯片上，观察了单粒子及双粒子激发情形下的量子行走现象，实验研究了二维平面上量子信息传播速度，同时通过调制量子比特连接的拓扑结构的方式构建马赫-曾德尔干涉仪，实现了可编程的双粒子量子行走。该成果为在超导量子系统上实现量子优越性展示及可解决具有重大实用价值问题的量子计算研究奠定了技术基础。此外，基于“祖冲之号”量子计算原型机的二维可编程量子行走在量子搜索算法、通用量子计算等领域具有潜在应用，将是后续发展的重要方向。



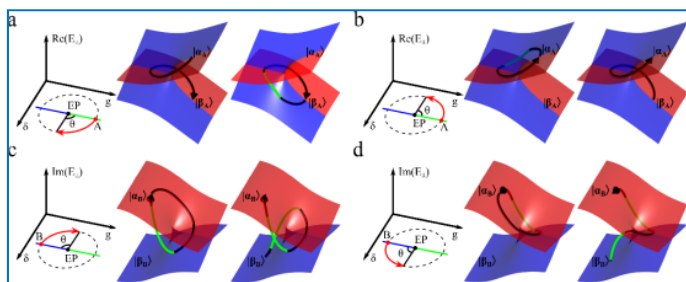
研究进展

中国科大在非厄米奇异点拓扑性质的研究中取得重要进展

中国科学技术大学中国科学院微观磁共振重点实验室杜江峰、荣星等人通过对金刚石量子比特的高精度量子操控，首次在量子体系中实现动力学环绕非厄米奇异点，并成功观测到基于奇异点的本征态转换。该研究成果以“Dynamically encircling an exceptional point in a real quantum system”为题，发表在近期的《物理评论快报》上。

研究组基于在量子系统中实现非厄米哈密顿量的普适方法，以金刚石氮-空位色心的核自旋为辅助比特，电子自旋为系统比特，通过量子调控的手段，实现了含时非厄米哈密顿量下的演化，并成功地观测到两种本征态转换。即当环绕的起始点处于宇称时间对称相时，量子系统的末态依赖于环绕奇异点的方向，和环绕初态无关（如图a, b所示），本征态转换呈现出非对称性。而当起始点处于宇称时间对称破缺相时，环绕末态和初态及环绕方向都无关（如图c, d所示），本征态转换呈现出对称性。研究组进一步的探索还发现，这类模式转换对于环绕路径上的随机噪声有很强的鲁棒性，这将在量子计算及量子信息处理领域有重要的应用潜力。

这项工作基于奇异点实现拓扑保护的本征态转换，为量子控制提供了全新的思路。而在量子系统实现含时非厄米哈密顿量，也为进一步研究非厄米系统的新奇物理，如环绕高阶的奇异点、探索非厄米拓扑不变量等奠定了基础。



图注：奇异点的能谱结构以及动力学环绕奇异点导致的本征态转换。蓝色和红色曲面分别对应非厄米哈密顿量的两个本征能量，两者在相交的奇异点附近呈现出独特的拓扑结构。能谱面上带箭头的曲线对应环绕奇异点的演化轨迹。图a和图b的环绕起点处在宇称时间对称相，呈现出非对称的本征态转换，即末态取决于环绕奇异点的方向，图c和图d的环绕起点处在宇称时间对称破缺相，呈现出对称的本征态转换，即末态不依赖于环绕奇异点的方向。

软化学调控亚稳态金属硫族化合物纳米结构研究取得新进展

近日，英国皇家化学会《化学会评论》以“Tutorial Review”的形式发表了中国科学技术大学俞书宏院士课题组受邀撰写的评述论文“Soft chemistry of metastable metal chalcogenide nanomaterials” (Chem. Soc. Rev. 2021, DOI: 10.1039/d0cs00881h)，阐述了利用“软化学”反应策略对亚稳态金属硫族化合物纳米结构进行物理化学调控的研究进展。

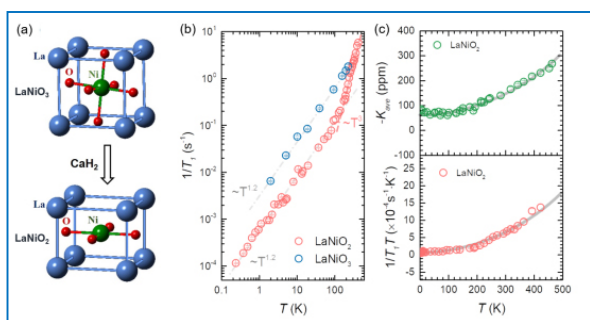
近年来，俞书宏院士课题组围绕亚稳态金属硫族化合物纳米材料的“软化学”调控开展了系统的研究。研究人员发展了硫化铜基异质纳米结构的精准合成 (Angew. Chem. Int. Ed. 2012, 51, 6365; J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 12913)，并拓展到多元铜基硫族纳米晶的组分和晶相控制 (J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 5576; Nat. Commun. 2020, 11, 5194)；利用内在热转换反应和配体驱动的化学还原合成银基硫族纳米晶及其异质纳米结构的路径 (Small 2013, 9, 3765; J. Am. Chem. Soc. 2015, 137, 5390)；分别提出了区域选择性生长方法和“脉冲式轴向外延生长”方法连续催化生长成功合成了手性II-VI族半导体基异质纳米结构、尺寸和结构可调的一维胶体量子点-纳米线分段异质结 (Nat. Nanotechnol. 2020, 15, 192; Nat. Commun. 2018, 9, 4947)；发展了二元软模板法控制合成硒化镍超细纳米线的新方法 (Angew. Chem. Int. Ed. 2018, 57, 4020)，实现了硫化镍基异质纳米结构维度和物相的可控合成 (CCS Chem. 2021, 3, 58)；提出了磷掺杂和碱加热诱导硒化钴从立方相向正交相的晶相转变策略 (Nat. Commun. 2018, 9, 2533; Nat. Commun. 2019, 1, 5338)。进一步探索了这些材料在催化和能量转换等领域的应用。

在该评述论文中，作者详细分析了金属硫族化合物纳米结构亚稳特性的具体表现形式，如离子的迁移和空位、热不稳定性及结构不稳定性、化学反应活性和晶相转变，以及基于以上特征设计相应的“软化学反应”路径，包括离子交换、催化生长、分离或耦合、模板嫁接或化学转化及晶相的稳定或构建。作者重点介绍了利用以上设计原则和转化规律对亚稳态金属硫族化合物纳米结构进行合成、修饰和功能化的最新进展。最后，作者对亚稳态金属硫族化合物纳米结构“软化学”调控研究的未来发展进行了展望，并提出了对这个领域主要存在的机遇及挑战的个人见解。



研究进展

中科大超导研究团队在无限层镍基超导体的磁性研究中取得重要进展



图注：(a) LaNiO_3 和 LaNiO_2 的晶体结构。通过 CaH_2 还原 LaNiO_3 可以得到 LaNiO_2 。(b) LaNiO_2 和 LaNiO_3 中自旋-晶格弛豫率($1/T_1$)随温度的变化关系。(c) 上半图： LaNiO_2 的奈特位移(K_s)随温度变化的关系。下半图： LaNiO_2 中 $1/T_1 T$ 随温度变化的曲线。

中国科大合肥微尺度物质科学国家研究中心和物理系陈仙辉研究团队的吴涛教授与南方科技大学梅佳伟、王善民等人合作在无限层镍基超导体的磁性研究中取得重要进展。该研究团队成功测量了无限层镍基超导体母体材料 LaNiO_2 的本征磁化率并观察到类似于高温超导体的“赝能隙”行为，为研究高温超导体中的超导机理以及赝能隙的物理起源提供了新的实验证据。相关研究成果发表于物理学知名杂志《物理评论快报》上[Phys. Rev. Lett.126,197001 (2021)]。

陈仙辉教授领衔的超导研究团队与南方科技大学梅佳伟和王善民课题组开展合作研究，在制备纯度较高的无限层镍基超导体母体 LaNiO_2 多晶材料的基础上，利用核磁共振方法对该材料进行了低温磁性研究。通过测量 ^{139}La 原子核的超精细相互作用以及自旋-晶格弛豫率，成功获得了该体系本征的磁化性质。在传统的巡游磁性理论中，奈特位移和自旋-晶格弛豫率分别正比于费米面态密度($N(E_F)$)的一次方和平方，因此它们随温度基本上没有显著的依赖关系；而在传统的局域磁性理论中，顺磁态一般满足居里-外斯定律，即随温度降低而显著升高。因此，“赝能隙”行为超出了传统理论对顺磁态行为的理解。在铜氧化物高温超导体中，核磁共振实验中的“赝能隙”行为被认为与体系的磁性交换作用相关，当磁性交换作用导致强的自旋关联而又不形成长程有序时，就有可能出现“赝能隙”行为。因此，目前的实验表明：在无限层镍基超导体中，强的磁性交换作用也同样是一个关键的因素，这对于理解高温超导体中的超导机理将起到重要的启示作用。

中国科大在抗烧结碳载纳米团簇催化剂方面取得新进展

近日，中国科学技术大学梁海伟教授、武晓君教授以及路军岭教授等课题组进行实验和理论相结合的合作研究，发现当把一种传统认为是催化毒化剂的硫元素掺入碳载体中能够在高温下稳定金属纳米团簇，展现出独特的抗烧结特性。在高温丙烷脱氢制丙烯反应中，该硫掺杂碳(S-C)负载Pt团簇催化剂展现出优异的丙烯选择性和稳定性。该研究成果以“Sulfur stabilizing metal nanoclusters on carbon at high temperatures”为题，发表在国际期刊Nature Communications上。

在前期工作中，研究人员发展了一种过渡金属催化碳化有机小分子制备多孔碳的方法，使用该方法所制备的介孔S-C为载体，基于Pt和S-C载体之间的强相互作用，研究人员进一步发展了原子分散催化剂的合成方法(Science Advances 2019, 5, eaax6322)，并研究了金属和S-C载体之间电荷转移方向对金属尺寸的依赖性(Nature Communications 2019, 10, 4977)。在上述工作基础上，本项工作中研究人员进一步拓展了该S-C载负责金属催化剂体系，发现了S-C载体在高温下稳定金属纳米团簇的特性。该硫稳定策略同样适用于其它贵金属纳米团簇体系(Ru、Rh、Os、Ir)，均表现出优异抗烧结能力。原位X-射线光电子能谱(in-situ XPS)和同步辐射X-射线吸收谱(XAFS)表征结果表明，该高温抗烧结能力源自于Pt和碳载体上掺杂的硫原子之间的强键合作用，并发现S-C载体对Pt纳米团簇存在电荷补偿转移。

通过理论模拟烧结过程发现，金属和S-C之间的强相互作用直接增大了团簇的迁移能垒，进而抑制了金属的迁移和聚集烧结机制；此外，该Pt-S界面键合作降低了金属团簇的表面能，增加了单个原子从团簇逃逸的能力，从而可能减缓奥斯瓦尔德熟化过程。研究人员进一步探究了上述催化剂的高温丙烷脱氢制丙烯性能。实验结果表明，具有富电子特性的Pt/S-C的丙烯选择性和稳定性明显优于缺电子Pt/S-free-C催化剂。理论计算表明，硫向Pt团簇的电荷转移，导致Pt上的电子富集，加快对丙烯的脱附(电荷排斥)，防止其进一步深度裂解形成积碳。原位热重实验证实了Pt/S-C催化剂上积碳的减缓，这将进一步提高催化剂的稳定性。该项工作阐述了一种制备高温抗烧结纳米团簇催化剂的新思路，并为选择性、高稳定性烷烃脱氢催化剂的设计提供了一种基于界面作用调控的新途径。



中国科大在碳纳米管片段弯曲共轭结构方面取得新进展

近日，国际重要化学期刊《德国应用化学》以“A Highly Strained All-Phenylene Siamese-Twin Bismacrocyclic”为题发表了中国科学技术大学杜平武教授课题组关于弯曲碳纳米管片段连体双环的最新研究成果（DOI:10.1002/anie. 202104669）。该工作首次构建了基于碳纳米管单层对苯撑片段的弯曲连体双环，研究了其独特的光物理性质，并利用富勒烯作为客体分子组装了超分子异质结。

碳纳米管由于其突出的机械、电学以及光学性质而受到了广泛关注。目前，选择性合成结构单一的碳纳米管或者碳纳米管片段成依然是纳米碳材料和合成化学领域面临的重大挑战。基于合成化学的自下而上合成策略，通过从环对苯撑碳纳米环逐渐增长成碳纳米管或者独特的拓扑结构分子，在控制小分子碳材料的性质和应用方面有具有重要意义。该课题组通过精确设计苯撑上的官能团，合成了一种共轭的高张力弯曲连体双纳米环结构(SCPP[10])，其中两个基于对苯撑的纳米环共价地连接在中心的扭曲苯环上。通过扫描隧道显微镜在原子尺度上确认了双纳米环的连体结构，是一个类似“8”字形的三维共轭分子。通过紫外可见吸收光谱、荧光光谱并结合理论计算研究了其物理性质。结果表明，与单个环对苯撑相比，SCPP[10]的紫外和荧光光谱发生了明显红移，发光由蓝色变成了黄色，表现出独特的非平面 π 延伸共轭增强现象；SCPP[10]具有高达110.59 kcal/mol的张力能和 46.07° 的最大二面角，位于中心的苯环具有 10.05° 的扭曲角。这些新颖的物理性质的产生归因于其独特的三维共轭全苯撑双环结构。双纳米环空间和合适的尺寸为SCPP[10]提供了独特的超分子主体性质。以富勒烯衍生物[6,6]-苯基- C_{61} -丁酸异甲酯(PCBM)为客体分子与SCPP[10]结合，可形成一个花生状1:2主客体复合物。根据紫外滴定，计算得出结合常数 $K_1 = (7.46 \pm 0.33) \times 10^5 M^{-1}$ 和 $K_2 = (5.85 \pm 0.25) \times 10^4 M^{-1}$ ，通过Job's曲线证明了主客体之间1:2的络合比关系。

该成果实现了首个完全由sp²杂化的全苯撑双纳米环的合成，这种连体双环以一个扭曲的苯为中心，展现了独特的光物理性质。此外，SCPP[10]作为一种新型的富碳化合物，可以用作超分子主体来捕获两个PCBM分子，形成基于双环的花生状1:2主客体复合物。该分子在光电材料和超分子材料等方面具有潜在的应用价值。

◆中国科大青年师生荣获“中国青年五四奖章”等荣誉

近日，第25届“中国青年五四奖章”、第24届“安徽青年五四奖章”评选结果揭晓，中国科大“九章”光量子计算原型机研制团队荣获“中国青年五四奖章集体”称号，中国科大林毅恒教授荣获“安徽青年五四奖章”称号。

“九章”光量子计算原型机研制团队由中国科大潘建伟院士带领，以青年人才为主体。团队28人中有18位是35岁以下青年。团队通过自主创新攻克了高品质量子光源、高精度光学锁相、规模化量子干涉三大技术难题，成功构建了由76个光子组成的量子计算原型机“九章”，实现了具有实用前景的“高斯玻色取样”任务的快速求解。根据现有理论，该量子计算系统处理高斯玻色取样的速度比目前最快的超级计算机快一百万亿倍。疫情期间，他们勇于面对错综复杂的环境挑战，自己手动创造替代，解决关键设备和重要实验材料出现缺失和困难；研究团队克服巨大的身体和脑力疲劳，坚持完成了一轮又一轮大规模、高强度的数据采集工作。“九章”团队一直在光量子信息处理方面处于国际领先水平，“九章”研究成果使我国成功实现了“量子计算优越性”的里程碑式突破。

林毅恒教授是中国科大特任教授、博士生导师，2015年获得美国科罗拉多大学博尔德分校(CU Boulder)物理博士学位，师从David Wineland教授(2012年诺贝尔物理学奖得主)，博士后期间在美国JILA研究所从事光镊束缚中性原子阵列实验。曾获国家优秀自费留学生奖学金，入选国家海外人才计划青年项目，于2018年从海外引进回国，并于2020年获得求是青年杰出学者奖。林毅恒教授长期从事量子信息实验研究，面向高精度、规模化的量子信息处理，开发一系列新方法和新技术，涵盖量子信息的逻辑门、新型量子纠缠、冷却技术等前沿课题，成果发表在国际顶级期刊，包括《自然》，《科学》，《物理评论快报》等。林毅恒教授作为近代物理系博士生导师，坚持青年教师初心，立足本职，发扬科研培养领域的社会担当风范。