



中国科大首次观测到多体配对赝能隙



图1. 图中头顶玉珠的两条鲤鱼，象征着一对自旋相反的费米子；龙门代表了超流相变和赝能隙。鲤鱼跃过龙门，表明配对发生在超流相变温度以上。这种配对现象反过来又导致赝能隙的出现。/制图：陈磊

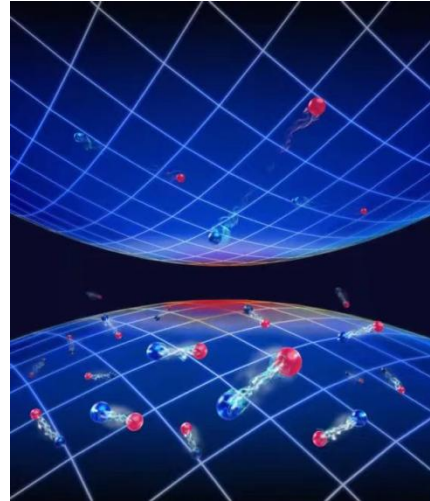


图2. 单粒子谱示意。连接和独立的小球分别代表库珀对和单粒子，曲面间隙为赝能隙。/制图：陈磊

中国科学技术大学潘建伟、姚星灿、陈宇翱等人基于强相互作用的均匀费米气体，首次观测到了由多体配对产生的赝能隙。这项研究首次确立了配对赝能隙的存在，为高温超导机理中的电子预配对假说提供了支持，朝向理解高温超导机理迈出了重要一步，是利用量子模拟解决重要物理问题的一个范例。该成果以“ ϵ 正费米气体中赝能隙的观测和量化”为题发表在国际权威学术期刊Nature上。

能隙的产生是超导的标志性现象。在常规超导体中，能隙存在于超导相变温度以下。随着铜氧化物高温超导体的发现，即使在超导相变温度以上，能隙仍然能够被观测到，这种现象被称为赝能隙。赝能隙的起源和性质可以为解答高温超导的机理问题提供关键线索。

经过多年的艰苦攻关，研究团队建立了超冷锂-镝原子量子模拟平台，实现了世界领先的均匀费米气体的制备。研究团队还发展了大磁场的稳定技术，在约700 G的磁场下，其短期波动优于 $25 \mu\text{G}$ ，相对磁场稳定度接近 10^{-8} ，比以往国际上的最优结果提升了一个数量级以上。在该超稳磁场下，研究团队得以成功实现超冷原子动量可分辨的微波谱学技术。在此基础上，研究团队系统地测量了不同温度下的 ϵ 正费米气体的单粒子谱函数，并成功观测到了赝能隙的存在，为电子预配对假说提供了支持（如图2所示）。

该研究工作不仅推进了强关联多体系统的研究，也为完善多体理论提供了重要的实验依据。此外，该工作中发展的超冷原子量子调控技术为下一步研究其它重要的凝聚态物理现象，如单带超流、条纹相、FFLO超流等奠定了技术基础。Nature杂志的审稿人一致认为，“这项工作解决了一个长期存在的重要物理问题，是量子模拟研究的里程碑进展。”

中国科大相关研究团队近年来在基于超冷原子的量子模拟方面开展了卓有成效的工作，已先后在Nature和Science发表了10篇高质量论文。在前期技术积累的基础上，超冷原子量子模拟已经开始显现出揭示包括高温超导机制在内的复杂物理系统规律的显著效用，为在近期构建具备解决实际问题能力的专用量子模拟机铺平了道路。



研究进展

中国科大在非晶固体振动特性的研究中取得新进展

近日，中国科大物理学院、合肥微尺度物质科学国家研究中心的徐宁教授研究组与中国科大物理学院的童华教授及安徽大学物理与光电工程学院的王利近教授合作，给出了非晶固体低频本征振动态密度的新图像，相关成果以“Low-frequency vibrational density of states of ordinary and ultra-stable glasses”为题发表于《自然·通讯》。

该研究创新性地将非晶固体依照对边界形变的稳定性分为稳定和不稳定两类，发现这两类非晶固体在低频非声子本征振动模式的态密度上展现出两种指数截然不同但鲁棒的标度律。不稳定非晶固体的标度指数与空间维度无关，均约为3.3，该指数与2017年徐宁教授及合作者发表于《物理评论快报》(Physical Review Letters, 2017, 119: 215502)的文章所预言的指数吻合，从而给出了该指数的物理解释。稳定非晶固体的标度指数则展现出了对空间维度的依赖，约为 $d+3.5$ ，该指数形成的物理机制目前尚不清楚，但是其鲁棒性为理论研究提出了新的问题，也可以用来检验相关理论。以往的研究发现，非晶固体低频本征振动态密度的标度指数对一些参数有依赖性，而该研究表明，这种参数依赖是稳定和不稳定非晶固体加权平均的结果，从而解决了关于非晶固体低频本征振动态密度标度指数的争议，给出了统一的物理图像，深化了对非晶固体低频振动特性的理解。

玻璃研究历史上存在著名的Kauzmann佯谬，形成玻璃的过冷液体的熵随温度的降低有很快的下降，如果这种趋势一直延续，在未达到零温之前过冷液体的熵就会低于晶体的熵。这种趋势显然是不合理的，因为这将最终违反热力学第三定律。为了解决这一矛盾，理论预言存在一个Kauzmann温度，在这个温度，过冷液体将形成与晶体熵一致的理想玻璃。该研究进一步揭示了超稳定玻璃在接近理想玻璃状态时低频本征振动特性的演化，发现非声子模式的数目随着温度的降低而下降，并有可能在某温度处完全消失。基于该趋势，理想玻璃的低频本征振动将可能由类声子模式主导，虽然结构无序，但却和晶体有相似的本征振动行为，从而给出了理想玻璃可能的物理特性，同时也为设计具有类晶体性质的非晶材料提供了新思路。

中国科大在单原子催化剂位点特异性金属载体相互作用研究中取得新进展

近日，中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心和化学物理系曾杰教授研究团队利用位点特异性金属载体相互作用，构筑出可以高效电催化水氧化的单原子催化剂。相关成果以“Site-specific metal-support interaction to switch the activity of Ir single atoms for oxygen evolution reaction”为题发表在《自然·通讯》上。

金属载体相互作用(MSI)在很大程度上会影响单原子催化剂的电子性质，从而影响催化性能。目前，调控金属载体相互作用的手段一般是更换载体或者对催化剂进行氢气还原处理，这会引发载体的变化或者降低催化剂的稳定性。因此，亟需发展一种能够在不改变载体的前提下调控金属载体相互作用的方法。

基于此，研究人员采用电化学沉积策略有效地调节了锚定在Ni层状双氢氧化物(Ni LDH)上的Ir单原子的位点特异性金属载体相互作用。阴极沉积驱动Ir原子锚定在三重中空位上($\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-T}$)，阳极沉积驱动Ir原子锚定在氧空位位点上($\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-V}$)。Ir原子与载体之间的强金属载体相互作用诱导活性位点从Ni位点切换到Ir位点，优化了中间体的吸附强度，从而提高了催化活性。

根据电化学沉积原理及X射线吸收精细结构表征结果， $\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-T}$ 在Ir位点与Ni LDH的配位氧之间具有更多的共价键，且 $\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-T}$ 的Ni 2p XPS峰向高结合能偏移，表明 $\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-T}$ 中Ir单原子具有更强的金属-载体相互作用。电催化水氧化反应测试结果表明，具有强金属-载体相互作用的Ir单原子催化剂的质量活性和本征活性分别提高了19.5倍和5.2倍。

氧同位素标记原位拉曼光谱表明，在水氧化反应过程中， $\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-V}$ 和Ni LDH中的 ^{18}O 标记氧很容易与电解液中 ^{16}O 原子交换，表明这两种载体中Ni是主要的活性位点。而 $\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-T}$ 中 ^{18}O 标记的 Ni^{3+} -O不会被 ^{16}O 交换，表明Ir是主要的活性位。此外，理论计算揭示了 $\text{Ir}_1/\text{Ni LDH-T}$ 中更强的MSI优化了含氧中间体的吸附能，从而提升了反应性能。

以上研究通过电化学沉积策略精准调控单原子的配位环境实现了催化剂的位点特异性金属载体相互作用，为设计高效的水氧化催化剂提供了新的思路。



研究进展

中国科大在高效单分子上转换电致发光研究中取得重要进展

最近，中国科学技术大学单分子科学团队的董振超研究小组，利用扫描隧道显微镜(STM)诱导发光技术，通过调控分子界面能级排布，首次观察到超常明亮的单分子上转换电致发光现象，提出和实现了一种全新的高效上转换发光机制，并且从理论上阐释了界面能级排布对单分子电致发光行为的影响。国际学术期刊《自然-通讯》发表了这项成果。

上转换电致发光通常指材料在低能量的电子激发下发射出高能光子的现象，这一非线性电光转换现象涉及分子的不同电子能态、以及分子与周围环境之间的相互作用。深入理解这些相互作用的微观机制和能量转换的微观过程，对于拓展上转换过程在有机光电器件、乃至光电催化和光合作用等方面的应用，都有着至关重要的意义。然而，受限于非弹性电子散射激发的低效性，之前报道的单分子上转换发光效率非常低。另一方面，许多宏观体系中的高效上转换发光机制，如三重态-三重态湮灭、热辅助、俄歇效应等，在单分子体系很难有效发挥作用。因此，如何实现高效的单分子上转换电致发光，仍然是科学和技术上的重要难题。

最近，董振超研究团队结合STM诱导发光技术和单分子界面能级排布的精细调控，成功使单分子上转换电致发光效率较之前报道的提升了一个量级以上。令人惊讶的是，他们发现在上转换偏压下测量到的单分子上转换发光强度甚至超过了正常偏压下的电致发光强度。通过深入细致的理论分析，他们发现，通过分子界面能级排布的精细调控，可以摆脱低效的电子非弹性散射过程的限制，实现一种全新的只涉及载流子注入过程的高效上转换激发机制。该机制可以巧妙地借助单分子的自旋三重态、阴离子和阳离子充电态等作为中间态，仅通过多步的载流子注入过程，将两个低能隧穿电子的能量依次转移到分子中，实现自旋三重态到单重态激子的有效上转换电致激发。在他们报道的体系中，新机制下的上转换发光效率甚至比之前报道的涉及非弹性散射过程的上转换发光效率高两个量级以上。他们还进一步发展了基于量子主方程的理论模型，构建了用于理解单分子发光效率与能级排布关系的电致发光图谱（“相图”），不仅直观的展示了实现高效上转换发光的先决条件，还揭示了单分子电致发光行为对偏压和能级排布的依赖关系。研究团队表示，这项研究结果不仅显著提高了单分子上转换电致发光效率，还为单分子尺度非线性电光转换过程提供了新的理解，对单分子光电子器件的节能优化和有机电子学的设计与发展具有指导意义。



国家研究中心简讯

◆中心成果入选2023年度中国科学十大进展

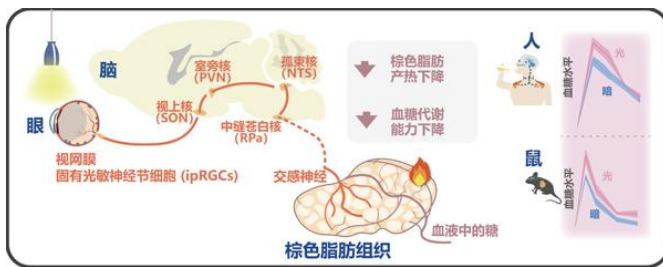
2024年2月29日，国家自然科学基金委员会发布2023年度中国科学十大进展，中心牵头完成的“揭示光感受调控血糖代谢机制”成果入选。

光是生命产生的源动力，也是生命体最重要的感知觉输入之一。光不仅提供给我们视觉图像感知，还调节着诸如昼夜节律、睡眠、情绪等一系列生理病理机能。国内外多项公共卫生调查研究显示夜间过多光暴露显著增加罹患糖尿病、肥胖等代谢疾病风险。然而，光是否能直接调节血糖代谢，以及其通过何种生物学机制实现，均是尚未解决的重要科学问题。

薛天教授研究团队发现了光直接通过激活眼中特殊的感光细胞，经视神经至下丘脑和延髓的神经核团传递信号，最终通过交感神经作用于外周的棕色脂肪组织，抑制其消耗血糖的能力（图）。相关研究成果发表在国际著名杂志《Cell》上。

这项研究发现了全新的“眼-脑-外周棕色脂肪”通路，回答了长久以来未知的光调节血糖代谢的生物学机理，拓展了光感受调控生命过程的新功能。提示现代人生活应关注健康的光线环境，针对夜间光污染造成的代谢性疾病罹患风险增高，应控制夜间光线的波长、强度和暴露时长。这项工作发现的感光细胞、神经环路和外周靶器官，为防治光污染导致的糖代谢紊乱提供了理论依据与潜在的干预策略。

“中国科学十大进展”旨在宣传我国重大基础科学研究进展，激励广大科技工作者的科学热情和奉献精神，开展基础研究科学普及，促进公众理解、关心和支持基础研究，在全社会营造良好的科学氛围。



图“眼-脑-棕色脂肪轴”介导光调节血糖代谢神经机制。光通过视网膜固有光敏神经节细胞(ipRGCs)，传递光信息到下丘脑视上核(SON)，然后传递至下丘脑室旁核(PVN)，脑干孤束核(NTS)，再到中缝苍白核(RPa)，最终通过交感神经支配棕色脂肪组织。光通过这一长程“眼-脑-棕色脂肪轴”的神经联系，抑制脂肪组织消耗血糖引起的产热，造成血液中的血糖过度升高，导致人和小鼠的血糖代谢能力降低。