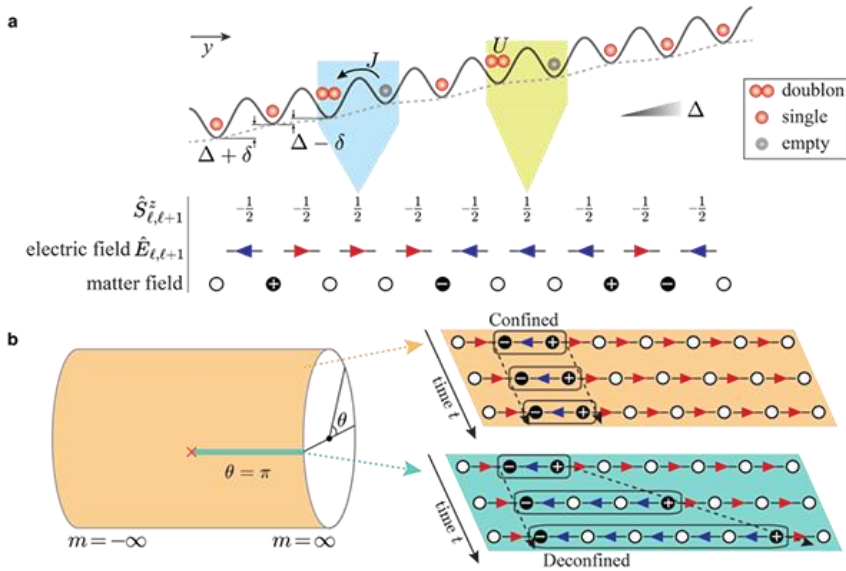




中国科大使用量子模拟器观测规范理论中准粒子禁闭的微观动力学行为



图注：超冷原子光晶格中构建U(1)格点规范理论的量子模拟映射示意图

中国科学技术大学潘建伟、苑震生等与合作者在超冷原子量子模拟实验研究中取得了重要进展，研究团队首次观测到格点规范理论中的禁闭相与非禁闭相转化的微观动力学过程，为理解这一复杂的量子多体现象提供了新的研究手段。相关成果发表于《自然·物理学》。

近年来，超冷原子量子模拟器的出现为研究禁闭问题提供了新的手段。2020年，中国科大的研究团队首次使用超冷原子光晶格量子模拟器建模了U(1)格点规范理论并验证了相应的局域规范守恒特性[Nature 587, 392 (2020)]，其后系统地研究了该理论的非平衡热化过程[Science 377, 311 (2022); Phys.Rev. Res. 5, 023010(2023); Phys. Rev. Lett. 131, 050401 (2023)]。基于以上基础，进一步研究U(1)格点规范理论中的禁闭-解禁闭相变问题仍面临两个重要困难：在理论上缺乏产生有效外电场的可行方案，在实验上缺乏产生和测控准粒子态的单格点原位调控技术。在此项实验中，研究团队中的实验和理论合作者巧妙地设计了线性倾斜势与超晶格势阱结合的方案，在该条件下将玻色-哈伯德模型映射为具有动态电场的U(1)量子链路模型，实验模拟了具备动态外电场的量子电动力学规范理论；同时，研究团队开发了具备单格点及粒子数分辨的量子气体显微镜，原位产生并实时观测了粒子与反粒子对的微观动力学，清晰展示了U(1)格点规范理论中禁闭相和非禁闭相的转变过程。

此项研究表明，超冷原子量子模拟方法为探索规范理论中的量子相变提供了全新视角，并将在研究非阿贝尔格点规范理论、二维和三位格点规范模型的非平衡动力学等计算复杂度超越经典计算能力的物理问题中获得更为重要的应用。该论文自去年在arXiv预印本网站公布以来即受到相关领域学者的广泛关注，目前已被引用40余次，研究团队成员也受邀在国际原子物理大会ICAP2024和Gordon Research Conference上报告相关研究进展。



研究进展

中国科大实现单根短链DNA分子序列结构化学识别的原理性展示

近日，中国科学技术大学单分子科学团队的董振超研究小组，通过发展与扫描隧道显微镜相结合的亚纳米分辨针尖增强拉曼光谱(TERS)技术，首次在单碱基分辨水平上展示了单根短链DNA分子序列结构的实空间化学识别。该成果发表于《美国化学会志》。

在本工作中，团队以人工设计的单根短链DNA分子作为模型体系，探索TERS技术识别柔性生物分子序列结构的可行性。团队首先对由同种核苷酸组成的短链DNA分子分别进行TERS测量，获得不同核苷酸的拉曼指纹作为参考数据库，然后设计了由四个不同核苷酸组成的单链DNA分子（序列为ATGC）作为原理性展示模型体系，通过STM形貌表征定位单个DNA分子，进一步研究其位置相关的TERS光谱特性，依靠不同核苷酸的光谱指纹特征将各个不同的碱基一一识别出来，从而首次实现在空间和光谱上同时对DNA分子序列结构的清晰识别。通过对单个DNA分子碱基的进一步实空间TERS成像，可以更好地展示这种单碱基水平的分辨能力，从成像图案中不仅可以分辨单个DNA分子中相邻的核苷酸，还可以获得DNA分子吸附构型的重要结构信息，甚至区分碱基和磷酸骨架的空间分布，以及单个碱基T中的甲基基团和单个碱基G/T/C中的羰基基团的空间位置。这些原理性展示结果不仅证明了TERS技术分辨单个碱基、单个官能团的能力，也为跟踪生物分子中的修饰或活性位点提供了可能。

展望未来，TERS这种无标记方法如果与阵列纳米加工和人工智能结合起来，有望发展成一种新的系列结构测量技术，为单个生物大分子（如长链DNA/RNA、蛋白质等）序列结构的实空间化学识别提供一种潜在的新途径。

中国科大研究团队提出过渡金属硫族化合物超晶格自组装的普适策略

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国际功能材料量子设计中心和物理系中国科学院强耦合量子材料物理重点实验室曾长淦教授、张汇副研究员实验团队联合崔萍研究员理论团队，在过渡金属二硫化物(TMDs)研究领域取得了重要进展。他们提出了一种通用的自组装策略，成功合成了1T/1H超晶格，为多功能电子器件的开发提供了新的可能性。相关研究成果以“Self-assembly of 1T/1H superlattices in transition metal dichalcogenides”为题发表于《自然·通讯》。

近年来，TMDs因其丰富的物理性质受到广泛关注。由TMDs构成的范德华异质结和超晶格不仅能够展现各组分的固有特性，还通过层间相互作用产生超越单一组分的电子结构和功能特性。然而，传统的TMD异质结和超晶格制备方法主要依赖于外延生长或二维材料的机械堆叠，这些逐层人工构建技术通常复杂且耗时，制备效率和样品质量受到限制。

研究团队提出了一种基于自组装的通用策略，成功实现了TMD超晶格的高效合成。该策略的核心在于通过调控T相和H相的形成能，使T相和H相能够自发组装成1T/1H超晶格。以 $\text{NbSe}_{2-x}\text{Te}_x$ 为例，通过调整Te与Se的化学计量比，显著降低了T相与H相之间的形成能差异，从而促进1T与1H层的交替自组装，最终形成稳定的1T/1H超晶格。进一步研究表明，这种1T/1H超晶格保留了1T和1H层各自的电子特性，为新型电子器件和光电子器件的开发提供了重要的材料基础。

此外，研究团队还验证了该策略的普适性。通过将 NbSe_2 中的Nb原子替换为V或Ti原子，他们同样成功合成了1T/1H超晶格。这些发现为其他层状材料的高效制备开辟了新的途径。