

---

# 中国科大等揭示层间拖拽运输中的量子干涉效应

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22495.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

中国科大等揭示层间拖拽运输中的量子干涉效应。

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科院强耦合量子材料物理重点实验室教授曾长淦、副研究员李林团队，与北京大学物理学院量子材料科学中心教授冯济课题组合作，在二维电双层结构层间拖拽效应研究中取得新进展。该研究通过构筑氮化硼绝缘层间隔的多种石墨烯基电双层结构，首次揭示了在层间拖拽这一复杂的多粒子运输过程中存在显著的量子干涉效应。3月16日，相关研究成果以Signature of quantum interference effect in inter-layer Coulomb drag in graphene-based electronic double-layer systems为题，在线发表在《自然-通讯》（Nature Communications）上。

量子干涉效应是量子力学中波粒二象性的直接体现。在固体材料中，弱局域化、普适电导涨落和Aharonov-Bohm效应等独特量子输运现象，均源于载流子扩散路径之间的量子干涉。然而，这些干涉行为均发生在单一导体内的载流子输运过程，可在非相互作用的单粒子框架下较好地解释。与之相比，诸如层间拖拽效应这种路径更为复杂的多粒子耦合输运中是否会展现出类似的量子力学行为，是重要的基础科学问题。拖拽效应是指对于两个空间相近但彼此绝缘的导电层构成的电双层结构，在其中一层（主动层）施加驱动电流，层间载流子之间的动量/能量转移会诱导另一层（被动层）载流子移动，从而在被动层产生一个开路电压或闭路电流。此前，拖拽效应被广泛用于研究载流子长程耦合特性，以及发现如间接激子波色爱因斯坦凝聚等层间关联量子态。然而，缺乏对这一独特输运过程本身的外场响应特性及可能的量子效应的研究。

石墨烯基二维电双层结构为在二维极限下开展深入研究提供了平台。作为天然且理想的二维电子气，石墨烯本身载流子类型和浓度均高度可调，且利用氮化硼作为绝缘层，两层石墨烯之间的间距可以低至数纳米，使得在更广阔参数空间内表征层间拖拽特性成为可能。基于此，研究构筑了双层石墨烯/氮化硼/双层石墨烯（以下称双层/双层）、单层/单层以及单层/双层等多个石墨烯基电双层结构。通过系统的外磁场下拖拽响应特性测试，研究发现在很大的温度/载流子浓度范围内，低磁场区间内拖拽磁电阻均会明显偏离经典库伦拖拽行为，且这种偏离的符号直接取决于石墨烯层的能带拓扑性（即电子波函数的贝利相位）。如对于双层/双层和单层/单层体系，拖拽电阻在电子-电子区间的修正均表现为低场的电阻峰，而对于双层/单层体系，则为电阻谷。

通过对拖拽运输过程的系统性分析，研究发现，观察到的低场修正可以较好地归因于由时间反演和镜面对称联系起来的两个层间拖拽过程之间的量子干涉，而其干涉路径则由空间分隔的两个石墨烯层层内载流子扩散路径共同组成。这种层间量子干涉的产生依赖于两层石墨烯中空间重叠的扩散路径的形成，其中中间绝缘层的杂质势散射起到重要作用。这一新型量子干涉效应的发现，将固体材料中的量子干涉行为，从单一导体内单一粒子输运行为，拓展到多个导体间多粒子耦合

---

运输过程，进一步丰富了量子干涉的物理内涵。此外，相比于传统层内量子干涉导致的磁阻修正，层间量子干涉导致的拖拽磁电阻的修正显著增大，从而有望为发展新原理存储器件提供新思路。

近年来，曾长淦与李林团队不断突破器件制备和测试技术，在石墨烯基电双层结构层间拖拽研究中取得了系列进展：利用石墨烯体系独特的层数依赖的能带色散，揭示了无质量费米子和有质量费米子之间长程耦合的指纹特性 ( Nano Lett. 20, 1396-1402 (2020) ) ；在石墨烯 ( 二维半金属 ) 和  $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$

异  
质结

( 界面二维超导 ) 组成的杂化电双层结构中发现由量子涨落诱导的巨幅超流拖拽效应 ( Nature Phys. 19, 372-378 (2023) ) 。上述研究表明了二维电双层体系在诱导实现超越单一体系的新型耦合量子效应方面的独特优势。

研究工作得到国家自然科学基金、科技部、中科院、安徽省和中国科大的支持。

[论文链接](#)

( a ) 层间拖拽效应测试示意图 ; ( b ) 电子-  
电子区间典型拖拽磁电阻 ; ( c ) 从层内量子干涉到层间多粒子量子干涉。

研究团队单位：中国科学技术大学

---

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发