单层和双层石墨烯声子色散的非绝热重整化

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/35047.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！

单层和双层石墨烯声子色散的非绝热重整化。玻恩-奥本海默近似（又称绝热近似）是凝聚态物理学中的基本假设之一，它基于电子和离子在质量和运动速度上的巨大差异，假设可以将二者分开处理。然而，当电子运动的能量尺度与离子振动的能量尺度相当时，绝热近似将不再适用，会产生明显的非绝热效应。非绝热效应的一个重要表现是对声子能量的重整化，这不仅发生在布里渊区中心，而且对遍及布里渊区整个动量空间的声子色散均有重要影响。此外，随着维度的降低，非绝热效应对声子色散的重整化愈加明显。但是，受常规探测手段的限制，目前对二维材料非绝热声子重整化的研究只局限在布里渊区中心，难以展现非绝热效应对有限动量下声子色散的影响。

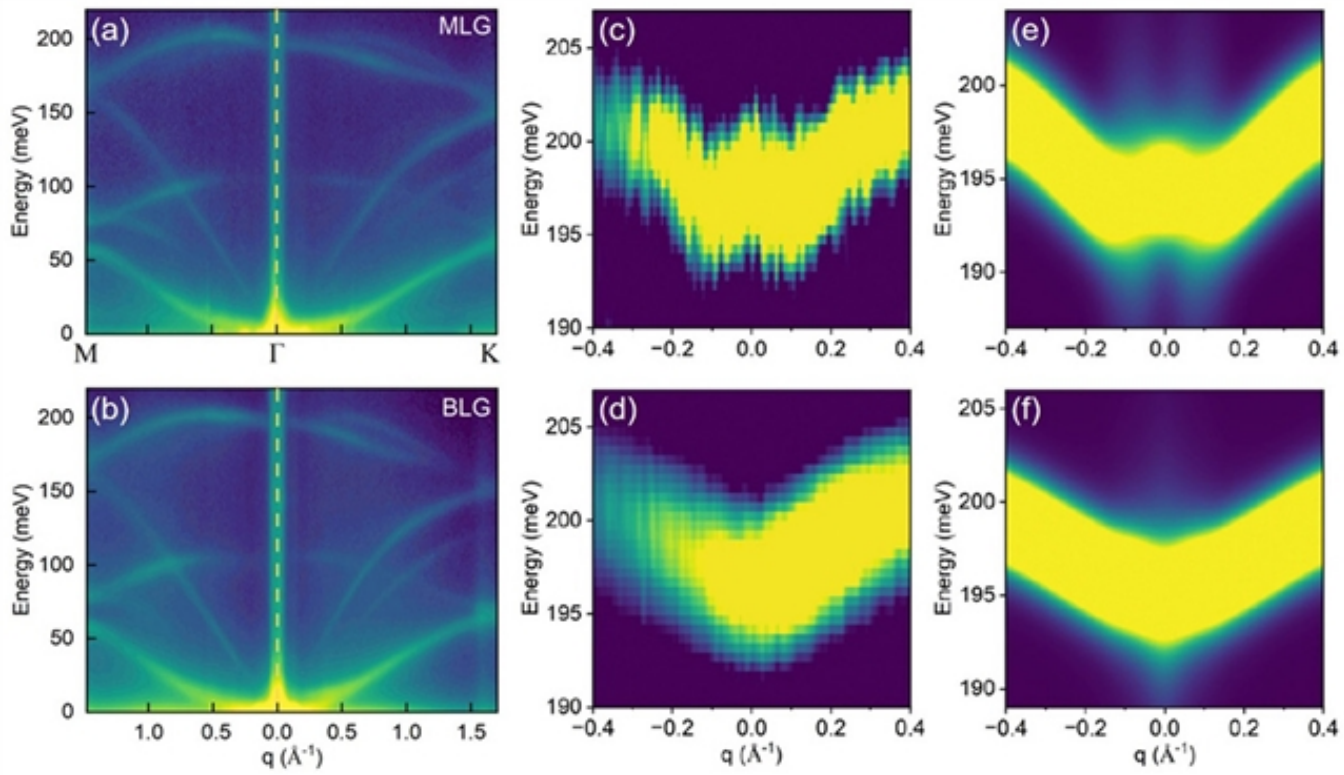
中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心SF06组的朱学涛研究员和郭建东研究员长期致力于二维材料/表面元激发探测和物性研究。利用自主研发的具有能量-动量二维成像解析能力的高分辨率电子能量损失谱仪（2D-HREELS），课题组近两年在二维材料声子色散研究中取得了系列成果：首次在全二维布里渊区中完整绘制石墨烯的三维声子谱，直接观测到石墨烯的拓扑声子[Phys. Rev. Lett. 131,116602 (2023)]；系统研究了单层hBN的拓扑声子，并与石墨烯的拓扑特性进行了比较[Chin. Phys. Lett. 42 027405 (2025)]；观测到二维极性材料LO-TO劈裂的失效和LO声子的奇异色散行为[Nat Commun 15,1938 (2024)]等。

最近，朱学涛研究员和郭建东研究员指导博士生李佳德（已毕业），与超快物质科学中心廉超副研究员和北京大学彭海琳教授团队合作，系统研究了单层和Bernal双层石墨烯中非绝热效应对声子色散的重整化。他们在整个布里渊区测量了单层和双层石墨烯的声子色散谱（图（a）和（b））。高能量和动量分辨率的数据揭示，在布里渊区中心附近，单层石墨烯的纵向光学（LO）声子具有W形的色散行为，而双层石墨烯则展现出V形色散（图（c）和（d））。这些都与常规的U形抛物线声子色散存在显著差异。结合理论计算，他们证明了这些异常的声子色散起源于非绝热电子 - 声子耦合对声子色散的重整化（图（e）和（f））。进一步的理论分析表明，在石墨烯中观察到的结果对掺杂二维材料具有普适性。对单层和双层石墨烯的比较研究为掺杂二维系统中非绝热效应对声子色散的影响提供了统一的理解框架。

这项工作以Nonadiabatic Renormalization of the Phonon Dispersion in Monolayer and Bilayer Graphene为题发表于Phys. Rev. Lett. 135,026204 (2025)，并被选为编辑推荐（Editors’ Suggestions）。物理所李佳德和北京大学唐际琳博士为该论文共同第一作者，朱学涛研究员、郭建东研究员、廉超副研究员和北京大学彭海琳教授为共同通讯作者，北京大学高鹏教授团队参与了该工作的讨论。该工作得到了科技部国家重点研发计划，国家自然科学基金，中国科学院战略先导（B）计划，中国科学院稳定支持基础研究领域青年团队计划以及国家资助博士后研究人员计划的资助。

（来源：中国科学院物理研究所）

相关论文信息：https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/4x9y-txyy



(a),(b) 单层和双层石墨烯的声子色散；(c),(d) LO声子的非绝热色散；(e),(f) 考虑非绝热电子-声子耦合的LO声子色散的计算结果。

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：朱学涛等 来源：《物理评论快报》

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转发