交错磁体的拓扑磁子研究获理论进展

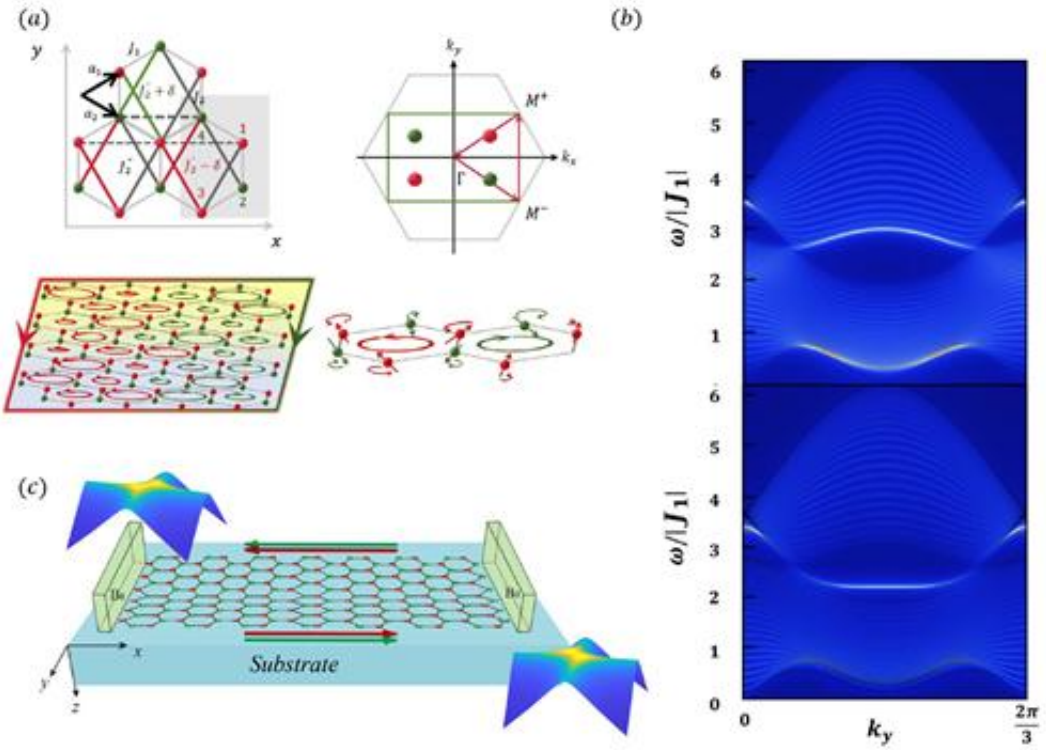
作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41286.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！

交错磁体的拓扑磁子研究获理论进展。近日，中山大学物理学院教授姚道新团队在交错磁体的拓扑磁子领域取得重要理论进展。研究首次建立蜂巢晶格上的四子晶格共线交错磁体模型，揭示了体系中非相对论性Weyl磁子与受Z2拓扑保护的节线磁子的实现机理，并进一步探究了对应的自旋输运特性与爱因斯坦-德哈斯效应。相关成果发表于《科学通报（英文版）》。

交错磁体是凝聚态物理与自旋电子学领域的前沿方向，兼具反铁磁零净磁矩与铁磁型动量空间自旋劈裂特征，为探索新型自旋准粒子行为提供了独特平台。磁子作为磁有序体系自旋集体激发的准粒子，其能带可拥有非平庸贝里曲率、拓扑不变量与拓扑边缘态，并衍生磁子热霍尔效应、自旋能斯特效应等丰富输运现象。当前绝大多数拓扑磁子理论方案依赖自旋－轨道耦合诱导的Dzyaloshinskii-Moriya相互作用（DMI），如何在弱自旋轨道耦合乃至无DMI条件下实现拓扑磁子，是磁子学领域亟待解决的关键科学问题。



共线交错磁体的晶格、拓扑磁子及输运示意。研究团队供图

姚道新团队以二维蜂巢晶格共线交错磁有序体系为研究对象，提出了一种无需显式引入DMI的拓扑磁子实现机制。团队构建了基于四子晶格的海森堡模型，以奈尔磁序为基础，引入不等价次近邻交换耦合；通过交换相互作用、磁序构型与晶体对称性共同调制磁子能带结构，使相反手性的磁子能带发生非相对论性手性劈裂。研究系统阐明了Weyl磁子及具有Z2拓扑特征节线磁子的形成条件与对称性保护机制，并拓展研究了该拓扑磁激发体系的自旋输运行为与爱因斯坦-德哈斯效应，为在交错磁体中实现拓扑磁子、探索拓扑磁子输运与磁－力学耦合效应提供了理论依据。

该研究建立的蜂巢晶格四子晶格共线交错磁体模型，系统揭示了无DMI拓扑磁子的特征演化规律。研究表明，通过调控次近邻交换耦合参数等，体系可实现Weyl磁子与Z2拓扑节线磁子等不同拓扑磁子激发。在节线磁子中，正反手性磁子能带沿高对称方向呈现受保护的能带简并，并可劈裂演化为成对Weyl节点，在有限纳米带结构上产生拓扑手性边缘态。研究进一步提出，除传统陈数与Z2拓扑不变量外，磁子手性是刻画与区分该类拓扑磁态的关键物理量，完善了拓扑磁子的表征体系。基于上述拓扑磁子能带结构，团队系统探究了温度梯度驱动的拓扑磁子输运行为。由于正反手性磁子在能量色散、态密度分布与贝里曲率分布上存在差异，其对横向自旋输运的贡献无法完全抵消，可自发产生横向自旋流，实现磁子自旋能斯特效应。计算表明，体系van Hove奇点可显著增强局域磁子态密度，与强贝里曲率协同耦合，放大拓扑磁输运响应。

团队还进一步研究了该体系独特的旋磁响应与角动量耦合机制，可在爱因斯坦-德哈斯效应中加以探测。具有非平庸贝里曲率的拓扑磁子波包可携带自转角动量与边缘流角动量，由于声学支与光学支磁子的贝里曲率符号相反，二者对体系旋磁响应的贡献相互竞争，使微分旋磁比随温度演化呈现显著峰值与符号反转行为。依据爱因斯坦-德哈斯效应，由于总角动量守恒，磁子体系的

角动量变化可通过晶格机械转动补偿，产生宏观力学扭矩，为交错磁体系的手性磁子劈裂提供了新的实验识别方案。

该工作建立了无DMI、纯交换耦合调控的拓扑磁子物理框架，阐明了交错磁体通过晶体-自旋联合对称性与交换耦合重构实现Weyl节点、拓扑节线及手性边缘态的微观机制，实现了拓扑磁子能带、自旋输运与旋磁响应的系统性统一描述。研究突破了传统拓扑磁子依赖自旋轨道耦合与DMI的固有局限，不仅拓展了交错磁体拓扑玻色激发的研究体系，也为弱自旋轨道耦合磁性材料、拓扑电路、超冷原子光晶格等无SOC模拟平台的拓扑量子研究提供了理论参考。（来源：中国科学报 朱汉斌）

相关论文信息：https://doi.org/10.1016/j.scib.2026.07.033

作者：姚道新等 来源：《科学通报》

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