

外尔费米子与铁磁自旋波共舞研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/11131.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！

外尔半金属的费米面有且仅有孤立的能带交叉点构成，因而其低能激发的准粒子可以用描述外尔费米子的外尔方程来刻画，具有外尔费米子的零质量、确定手性等特征。虽然自由粒子形式的外尔费米子至今未能被实验确认，但在外尔半金属中却能够实现外尔费米子形式的准粒子，这为研究外尔费米子的行为提供了新途径。固体中的外尔费米子准粒子还具有不同于真空中真实粒子的独特物理性质和新奇现象，譬如费米弧和手性反常导致的磁阻效应、内禀反常霍尔效应、三维量子霍尔效应等。因此，首个非磁性外尔半金属TaAs家族材料的发现具有重要科学意义，推动了外尔半金属的研究进展。另一类破坏时间反演对称性的磁性外尔半金属在近期也得到了材料实现和密切研究。

首个实验确认的磁性外尔半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 于2018年被提出，并被相关谱学实验证实。目前， $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 已经成为磁性拓扑物理前沿研究的一个重要平台。 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$

属于Shandite化合物，其中Co原子构成层状kagome结构，具有c方向极化的面外铁磁序，磁矩强度为 $0.3 \mu_B/\text{Co}$ ，居里温度约为175 K。能带拓扑结构中，有三对外尔费米点靠近费米能级（图1）。由于外尔费米子可当作是动量空间的赝磁场——贝利曲率的磁单极子，它们将影响实空间中电子的运动，譬如产生内禀反常霍尔效应等。拓扑效应主导的内禀反常霍尔电导能抵御材料缺陷和外部热扰动的破坏，具有很高的稳定性，有利于量子器件的应用。在磁性外尔半金属中，内禀反常霍尔电导与一对手性相反的外尔费米子在动量空间的间距基本成正比，并与外尔费米子到费米能级的远近有关。磁性状态的变化能够影响电子结构，进而使得外尔费米子的位置和能量产生变化。可以预想，当材料中有序排列的磁矩因集体运动产生自旋波时，内部的外尔费米子也将随之被扰动，从而使得反常霍尔电导受到影响。反过来说，外尔费米子作为动量空间的磁单极子，借助系统的自旋-轨道耦合效应，其中的自旋波色散也将受其影响，体现为材料中自旋波的刚度（或斜率）和能隙的温度依赖行为与外尔费米子有内在关联（图2）。

近日，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究人员等利用非弹性中子散射精细测量了 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 单晶的低能自旋波，并用唯象理论模型分析了其自旋相互作用和自旋波能隙的温度依赖关系等。他们发现，不同于材料的准二维晶体结构，其铁磁自旋波在低温下具有明显的三维特征，即在ab面内和c方向均存在不同程度的色散（图3），表明该体系具有三维磁交换作用，且层间强度是层内的一半。类似的色散延续到高温顺磁态中，表明了体系具有中等程度的三维自旋关联效应。数值计算结果很好地印证了这一结论，并估算出与实验值接近的居里温度和自旋波刚度，其磁各向异性性能约为0.6 meV。然而，高精度的中子散射测量表明，在4

K温度下，自旋波能隙完全打开，高达2.3 meV。详细的温度依赖关系表明，自旋波能隙并不完全服从铁磁序参数的行为，而必须充分考虑反常霍尔电导的影响，体现了外尔费米子与自旋波的相互影响（图4）。此前，在SrRuO₃中的研究表明非单调温度依赖自旋波刚度和能隙与反常霍尔电导率行为很类似，但是该材料尚未有关于外尔费米子的确凿谱学证据。而在其他一些磁性拓扑半金属候选材料中，自旋波与拓扑费米子是否存在耦合仍存有较大争议。该研究不仅给出了磁性外尔半金属Co₃Sn₂S₂中的磁性相互作用参数等关键信息，而且明确表明电子拓扑态与自旋动力学之间存在互相影响，这为理解磁性拓扑材料提供了物理基础，并以此启发了该材料体系拓扑物态调控的可能思路。

上述研究工作发表在SCIENCE CHINA Physics, Mechanics Astronomy上。

以上中子散射实验在澳大利亚中子散射中心Taipan和Sika两台三轴谱仪上完成。该研究工作得到了国家自然科学基金、北京市自然科学基金、国家重点研发计划、中科院战略性先导科技专项（B类）、中科院青年促进会等项目的支持。

[论文链接](#)

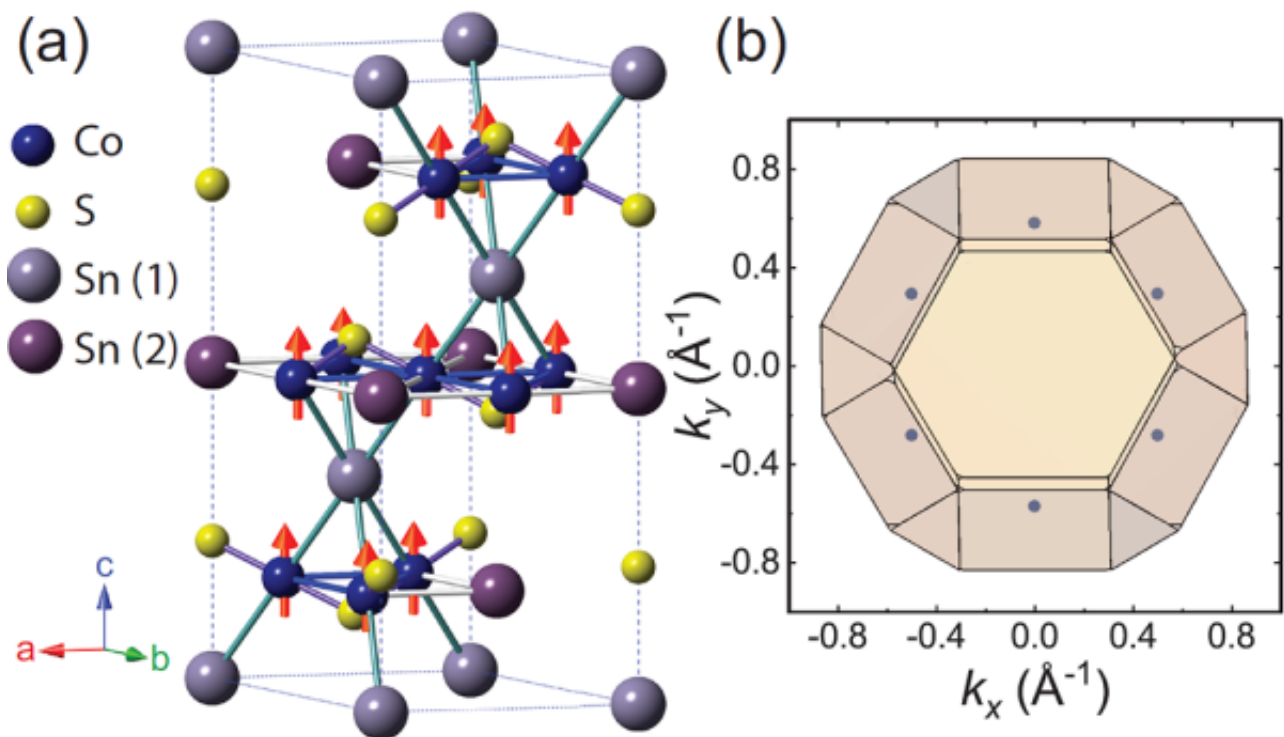


图1. (a)Co₃Sn₂S₂的晶体结构和铁磁结构。(b) 外尔费米子在动量空间位置。

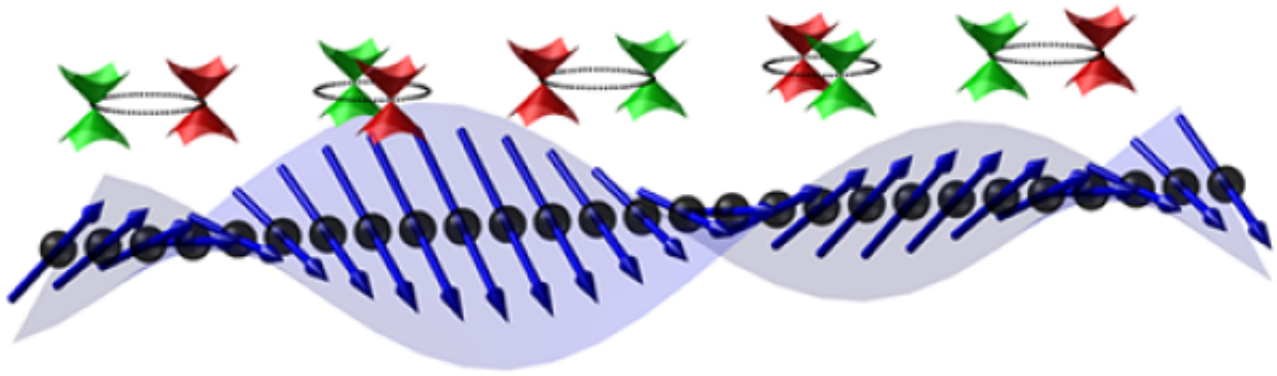


图2. 外尔费米子与自旋波共舞

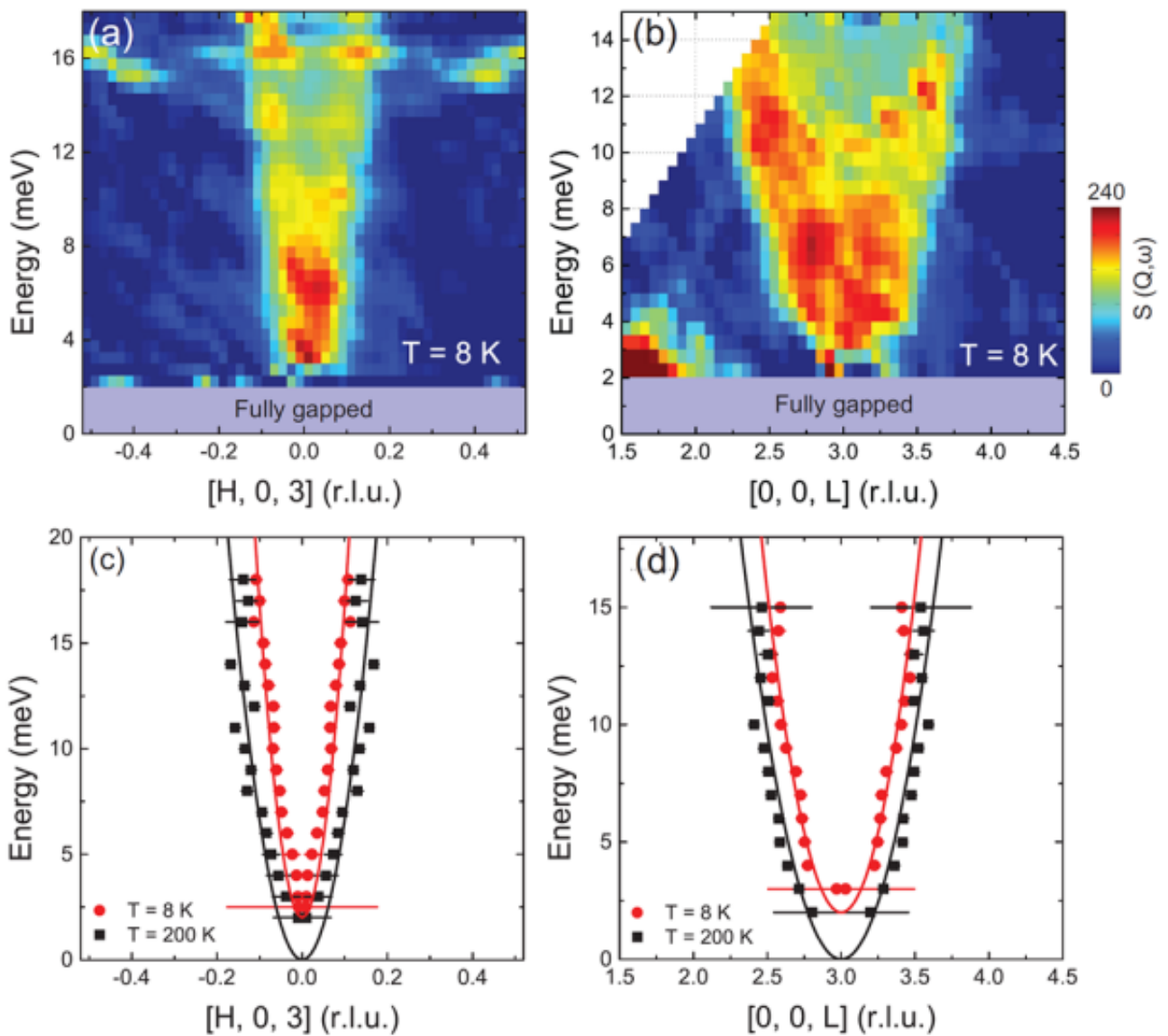


图3. $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 的自旋波在ab面(H方向)和c方向(L方向)的色散。

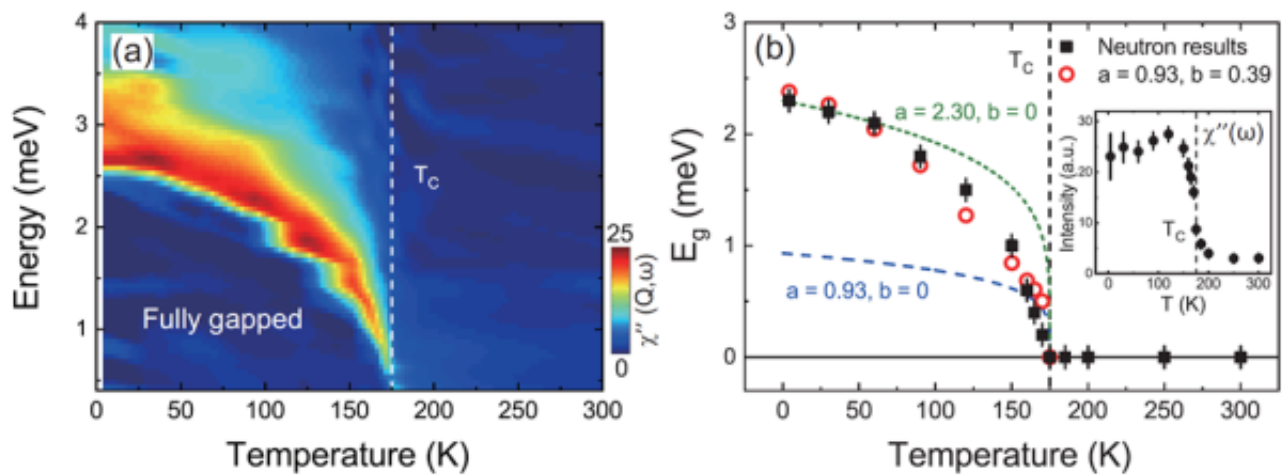


图4.

$\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$

的自旋波能隙及其随温度的演化，其中虚线为参照铁磁序参量拟合结果($b=0$)，红色空心点为考虑反常霍尔电导贡献之后的数据拟合结果($b \neq 0$)。

研究团队单位：物理研究所

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](https://www.iikx.com)转发