



面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，率先实现科学技术跨越发展，率先建成国家创新人才高地，率先建成国家高水平科技智库，率先建设国际一流科研机构。

——中国科学院办院方针

[首页](#)[组织机构](#)[科学研究](#)[成果转化](#)[人才教育](#)[学部与院士](#)[科学普及](#)[党建与科学文化](#)[信息公开](#)

首页 > 科研进展

物理所在高压驱动的磁性拓扑相变研究中获进展

2022-04-24 来源：物理研究所

【字体：大 中 小】



语音播报



相变行为普遍存在于物质世界，是材料学和物理学领域的基本现象和重要课题。在相变过程中，不同物态相互转化，并伴随着丰富的临界现象。绝大多数情况下，相变可以由以序参量为自由度的朗道理论完美描述，其核心精神是局域对称性的自发破缺。例如，磁相变是一类以磁化强度为局域序参量的朗道相变。与之相对比，拓扑相变则由描述全局对称性的拓扑不变量进行刻画，而无法运用传统的朗道理论来描述。因此，拓扑物态之间的相变，包括新奇粒子的产生可能并不伴随实空间中的结构对称性变化。进一步地，当拓扑相变伴随有时间反演对称性的改变时，拓扑相变与磁相变关联在一起，使得非传统的拓扑相变与经典的朗道相变发生纠缠。这不仅会产生新的基本物态演化和耦合形式，也会为通过磁性/磁场的变化来调控拓扑物态提供了可能。

Weyl半金属是近年发现的一种拓扑准粒子态，可以存在于时间反演或空间反演破缺的体系中。对于磁性Weyl体系，当时间反演对称性恢复后，或者非磁性Weyl体系恢复中心反演对称性后，如果仍然保持能带反转特征，则有可能转变为拓扑绝缘体，并伴随Weyl点湮灭的拓扑相变。因此，一对手性相反的Weyl点的湮灭有两种方式，一种是非磁性Weyl半金属中的“带内”（一组交叉能带）湮灭；另一种是磁性Weyl半金属中的“带间”（两组自旋相反的交叉能带）湮灭（图1）。前一种过程需要恢复中心反演对称性，不容易触发；而后一种过程由于和体系的磁性相关，可以借由抑制磁性的方式恢复体系的时间反演对称性，进而诱发相应的拓扑相变。

继磁性Weyl半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 被发现以来，其拓扑态对基本电、热、光等物性的影响，以及其磁性和拓扑物性的耦合得到了广泛的研究。该磁性拓扑体系的出现为磁性拓扑相变提供了可选的平台。有研究表明，施加等静压可影响 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 体系的磁性和拓扑主导的反常霍尔效应。与温度诱发的相变不同，压力对体系磁性和拓扑物性的影响可以发生在较低温度，受热扰动的影响较小，可以观察到更加本征的拓扑相变过程【图1(c)】。

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员刘恩克主要从事磁性拓扑与磁性相变材料研究，实现了首个磁性外尔费米子拓扑半金属，提出了全过渡族Heusler合金新家族，发现了磁相变材料的“居里温度窗口”效应。近日，物理所博士后曾庆祺和刘恩克等，与南方科技大、北京高压中心等研究团队合作，结合磁相变和拓扑相变的思路，测量高压下的结构、磁性、电输运，并进行了高压下的理论计算，得到了 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 体系拓扑电输运性质随压力的演变过程，实现了磁性外尔费米子态-非磁性拓扑绝缘体态的磁性拓扑相变。随着等静压的施加，体系的居里温度由175 K逐渐下降，Hall曲线回滞特征逐渐减

弱直至消失（图2），表明体系在常压下的铁磁性逐渐被抑制。考虑了面内反铁磁分量的计算结果与实验测量所得反常Hall电导的变化和趋势可以很好地吻合（图3），说明施加压力的过程中，体系在面外铁磁性的基础上还出现了面内的反铁磁分量。实验和计算结果表明，经由上述非线性磁结构的中间状态，体系在40 GPa高压下自旋极化消失（时间反演对称恢复），转变为自旋简并的Pauli顺磁态（图3，图1）。对顺磁态的能带结构定义弯曲的费米能级可以得到体系的拓扑数 $Z_2=1$ ，表明该顺磁态具有拓扑特性，是“广义的”拓扑绝缘体态（图1）。研究揭示了Weyl点在加压过程中的移动轨迹（图4）。可以看到，来自不同自旋通道的手性相反的Weyl点在高压下相遇，进而成对湮灭。

以上电输运测量和第一性原理计算表明，等静压诱发 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 体系的磁性拓扑相变，驱动面外铁磁性Weyl半金属经由具有面内反铁磁分量的磁性Weyl态，转变为自旋简并的Pauli顺磁拓扑绝缘体态。同时Weyl点的湮灭表现出不同自旋通道的带间湮灭新形式，与以往的中心反演破缺Weyl体系中的带内湮灭不同。此前，该体系的这一拓扑相变在常压下居里温度附近被变温角分辨光电子能谱实验所证实。

该研究工作实现了磁性外尔材料中存在的磁性拓扑相变，揭示了压力及温度作为物相空间的两个自由度可对拓扑磁体的拓扑物态进行联合调控，并有望促进磁性拓扑体系的拓扑物态和物性调控的进一步研究。相关成果以Pressure-Driven Magneto-Topological Phase Transition in a Magnetic Weyl Semimetal为题发表在Advanced Quantum Technologies上。

论文链接

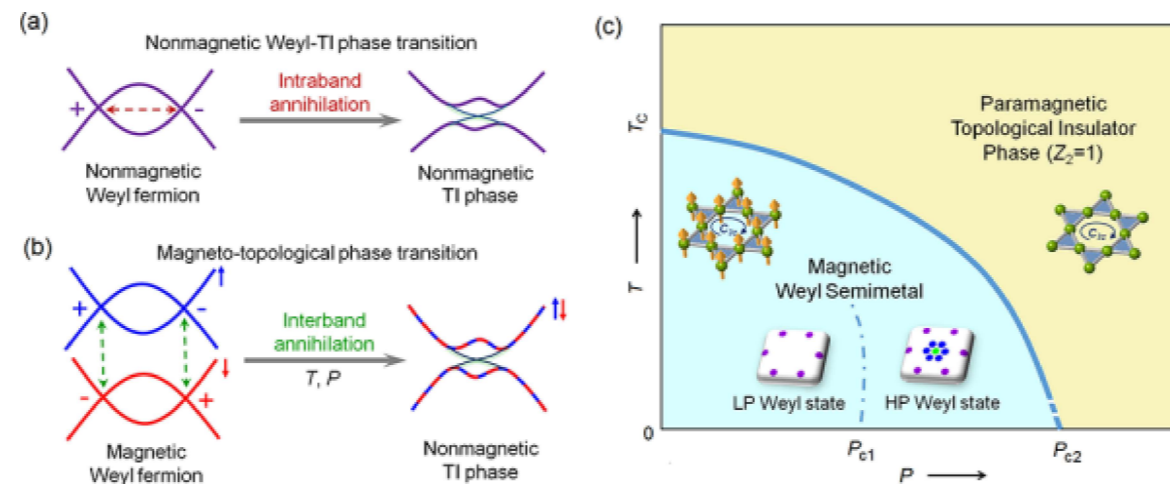


图1 Weyl半金属的拓扑相变

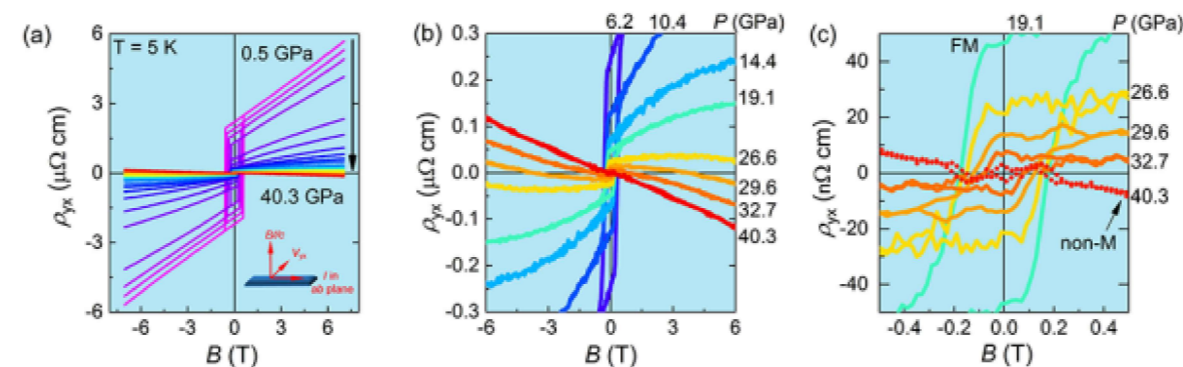


图2 Hall响应随压力的演变

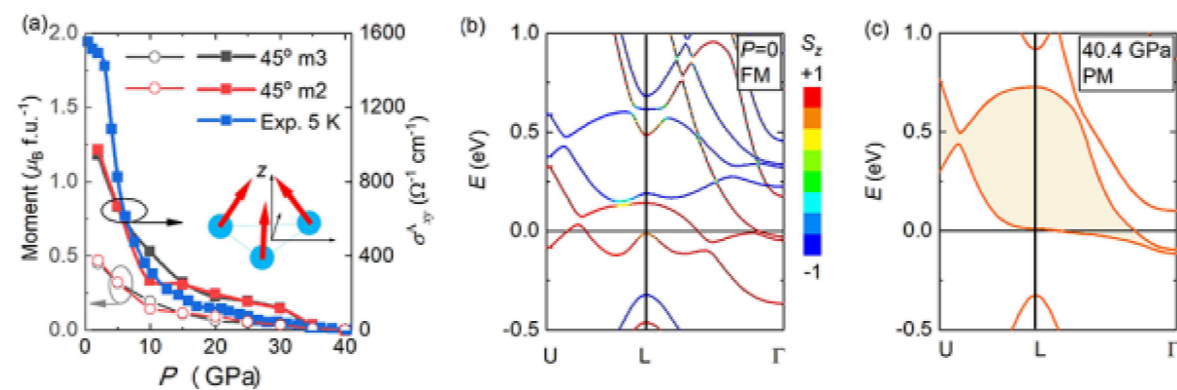
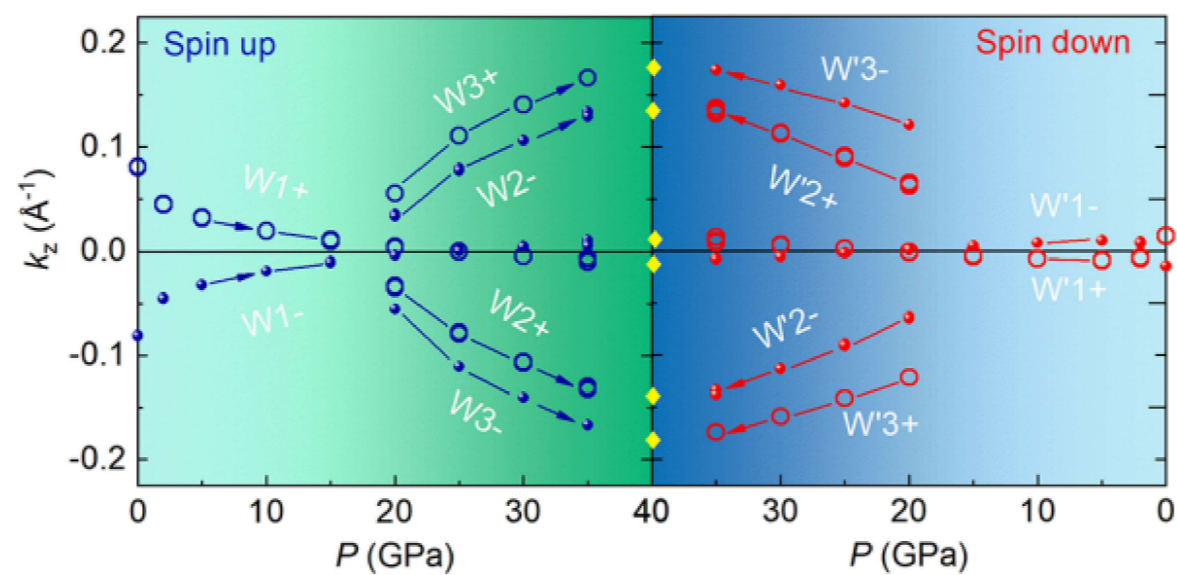


图3 (a) 分子磁矩和反常Hall电导随压力的变化。Exp.代表实验测量值；(b)零压下的能带结构，对自旋做 S_z 投影可以区分不同的自旋通道；(c) 高压抑制自发磁化后体系的能带结构

图4 Weyl点的 k_z 分量随压力的演变

责任编辑：江澄

打印



更多分享

» 上一篇：遗传发育所解析玉米单向杂交不亲和机理

» 下一篇：上海微系统所在外泌体miRNA原位荧光检测技术方面取得进展



扫一扫在手机打开当前页

© 1996 - 2022 中国科学院 版权所有 京ICP备05002857号-1 京公网安备110402500047号 网站标识码bm48000002

地址：北京市西城区三里河路52号 邮编：100864

电话：86 10 68597114（总机） 86 10 68597289（总值班室）

编辑部邮箱：casweb@cashq.ac.cn

