物理所揭示弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体及多重体边对应

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/24714.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！

在过去近二十年，拓扑物相里备受理论和实验学家的关注，成为凝聚态物理和量子模拟等领域的研究热点。基于体系的对称性和维度，拓扑绝缘体可分为十个Atland-Zirnbauer类。系统的拓扑不变量由阿贝尔群元Z或Z2给出。科学家发现某些对称保护拓扑相可超越以上阿贝尔型分类。例如，当多个带隙耦合在一起时，同时具有时间与空间（PT）反演对称性时，一维绝缘体的拓扑不变量由非阿贝尔群表示。体系的拓扑态由四元数荷Q_8={±i,±j,±k,-1,1}来表征，它们满足$i^2=j^2=k^2=ijk=-1$，$ij=-ji,ik=-ki,jk=-kj$。非阿贝尔拓扑绝缘体具有更丰富的体边对应关系，已在传输线网络、声学超材料和光子学实验中得到证实。

与静态体系不同，周期性驱动或Floquet（弗洛凯）系统为实现各种新奇物态荷动力学行为提供了丰富的手段和平台，成为非平衡量子物理的研究重点。周期驱动体系中存在许多静态系统中没有的拓扑现象。例如，在反常弗洛凯陈绝缘体中，即使体系的有效哈密顿量的陈数为零，反常的边界态仍可存在。在这一背景下，会有如下基本问题：是否存在弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体及如何实现？它与静态的非阿贝尔拓扑绝缘体有何异同？弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体中的体边对应关系是怎样的？非阿贝尔拓扑性质如何在系统的动力学中体现？

近期，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心凝聚态理论与材料计算重点实验室T01组特聘研究员胡海平与博士后李天宇，探究了具有PT对称性的多耦合带隙的弗洛凯体系，提出了一类新型的拓扑物态——弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体，发现了它在拓扑和动力学上迥异于静态或阿贝尔系统的性质。该团队展示了该系统中的体边对应是多重的，且遵循四元数群Q_8的乘法规则。该系统中，相同的四元数电荷可对应于几种不同的边缘态构型。这些构型完全由时间演化的相带中的奇点刻画。在反常非阿贝尔相中，尽管四元数荷是平凡的，但在所有带隙中均出现边缘态。此外，该团队发现了新奇的动力学效应，即交换外界驱动可导致畴壁模式出现。这一效应展现了体系动力学过程的不可交换性，是非阿贝尔体系的特有性质。此外，该团队提出了具体的紧束缚模型及周期驱动方案来实现各种具有不同拓扑荷的弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体，并有望在将来的量子模拟平台中得以实现。上述成果让科学家更全面了解了多带非平衡体系的非阿贝尔行为，为探索非平衡拓扑相中的丰富现象和未知领域开辟了新的可能性。

相关研究成果发表在《自然-通讯》（*Nature Communications*

）上。研究工作得到国家重点研发计划、中国科学院和中国博士后科学基金的支持。

论文链接

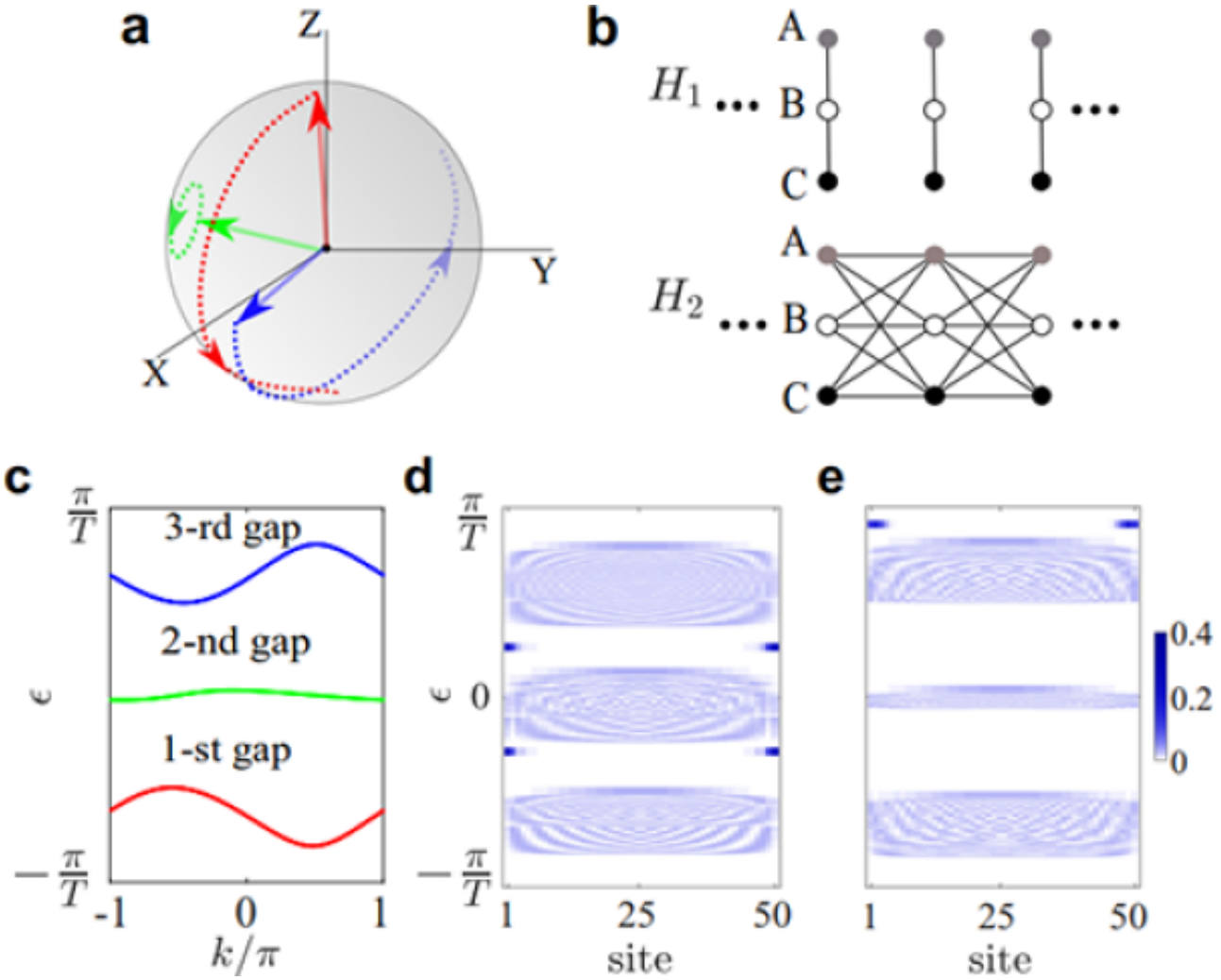

图1. 周期驱动系统中的多带隙拓扑。（a）由四元数荷表征的拓扑绝缘的本征态构成的参考系旋转简图。在晶格动量从-π到π范围内变化时，第一、第二、第三能带的本征态在单位球面上的轨迹分别用红、绿、蓝标记。（b）周期驱动的步骤，H1（H2）分别只包含胞内（胞间）的耦合。（c）准能带隙的标记。（d-e）开边界下四元数荷为q=j时，体系的准能谱和波函数空间分布（用色度表示）。（d）中，边界态同时出现在第一和第二带隙中。（e）中，边界态只出现在第三带隙中。

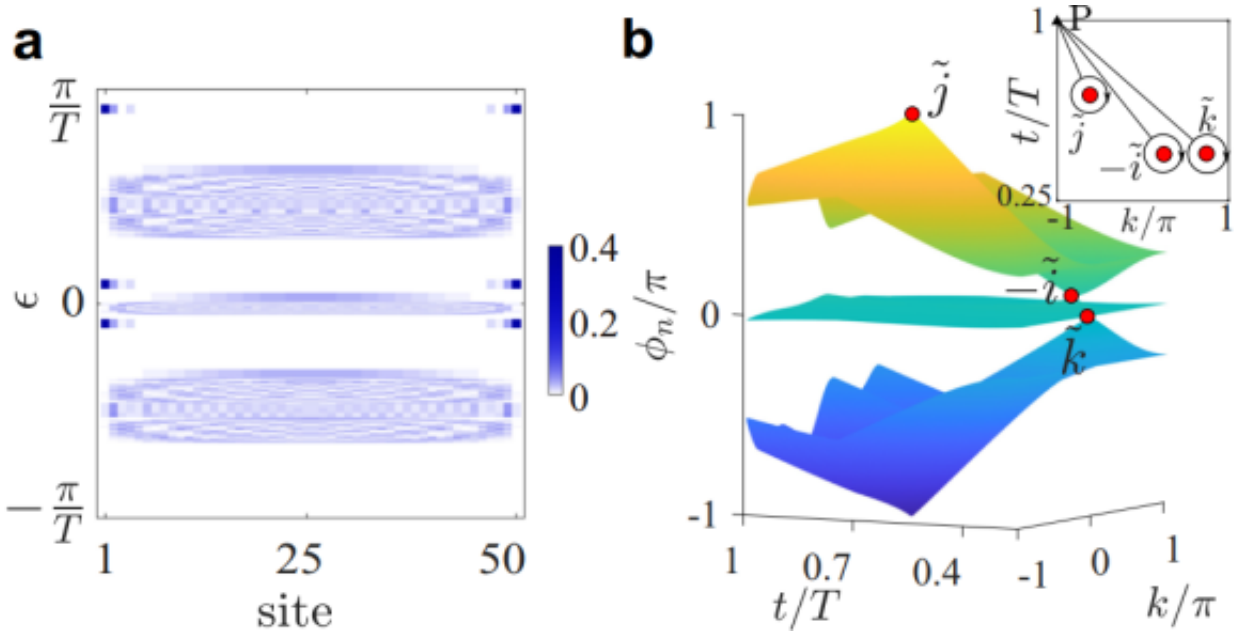

图2.　弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体中的反常边界态。（a）开边界条件下，体系的准能谱和本征态的空间分布，系统的体四元数荷为q=1。（b）在2D的动量-时间空间中的相带，其中狄拉克奇点用红点标出。插图：带四元数荷j、i和k的狄拉克点在（k，t）空间中的位置。P点是围道的参考点。有效哈密顿量的四元数荷和狄拉克点的四元数荷的关系为1=k（-i）j。

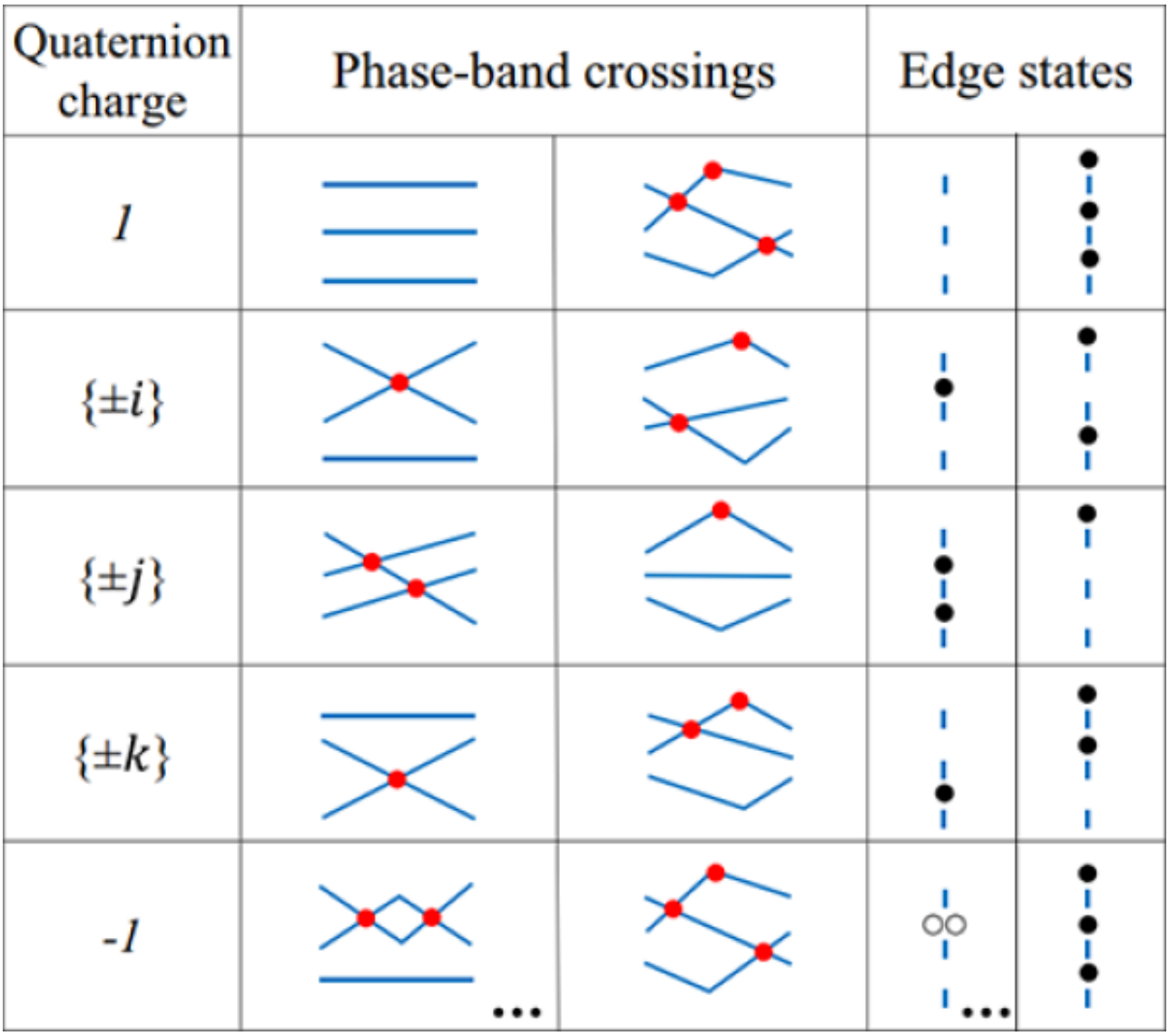

图3.　弗洛凯非阿贝尔拓扑绝缘体中的多重体边对应。第一列列出有效哈密顿量的四元数荷，不同的行对应Q_8
的五个共轭类。第二列和第三列列出对应的相带结构，其中红点表示奇点。第三列列出在准能量布里渊区边界存在带交叉的情形。第四/第五列勾画出与第二/第三列中的相带相对应的边界态构型，其中黑点表示边界态。弗洛凯系统中特有的构型见第五列。这个列表同样适用于畴壁模。

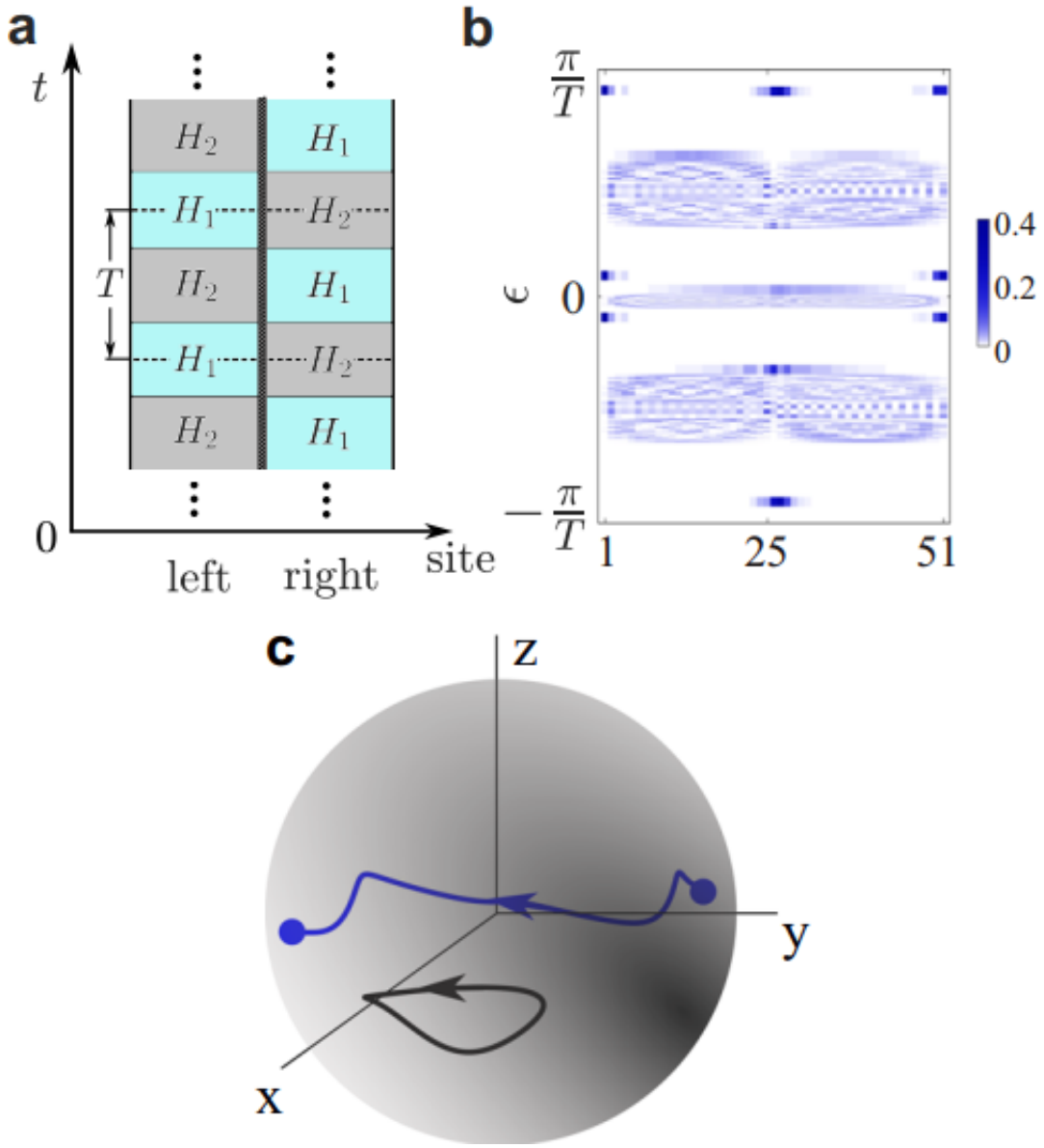

图4.　非阿贝尔拓扑中特有的交替驱动界面模。（a）周期驱动设置：左右两个子系统通过交换驱动的界面连接。（b）两端开边界的准能谱及其本征态的空间分布，可见在第三个带隙处出现了一对畴壁态。（c）变换O（蓝色曲线）在SO（3）的参数空间（用实心球表示）中的轨迹。当k从-π到π变化时，O的轨迹形成了一个闭合的非平凡环路。该环路连接了SO（3）中的一对对径点。作为对比，黑色曲线表示SO（3）中的一个平凡环路。

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转发