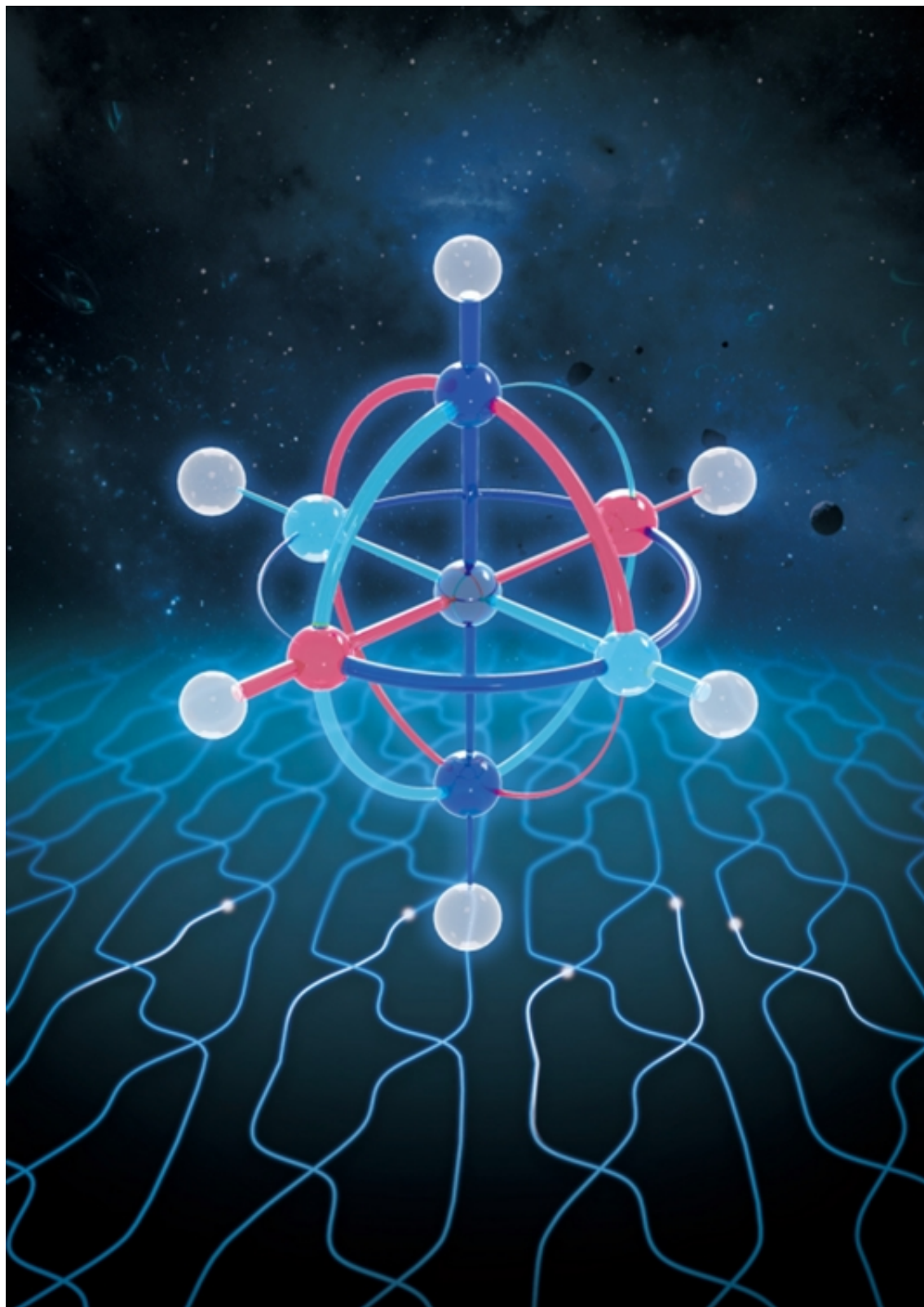

研究实现和观测非阿贝尔拓扑荷能带系统

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14211.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！

研究实现和观测非阿贝尔拓扑荷能带系统。



研究人员直接实验观测到了一维能带系统中的非阿贝尔拓扑荷。图片来源：香港大学张霜等
香港科技大学教授陈子亭团队领衔，香港大学教授张霜和国防科技大学副研究员杨镖等研究人员

合作，通过构建空间和时间反演对称保护的传输线网络，直接实验观测到了一维能带系统中的非阿贝尔拓扑荷，并将其清晰地映射到本征坐标架球面上。6月9日，相关论文刊登于《自然》。

研究人员表示，该系统与阿贝尔群描述的拓扑系统不同的是，不同拓扑相之间的转换的路径不再是唯一的，这使得体一边对应更为复杂。该研究同时也提出了非阿贝尔体一边对应，提供了边界/畴壁态分布的全局视图。

近年来，拓扑物理从根本上变革了人们的思考方式，并有望支撑变革性技术发展，如无损能量、信息传输，拓扑激光与雷达以及量子计算等。在不破坏某些对称性或不关闭禁带的情况下，两个拓扑上截然不同的相不能绝热地相互转换。其中的原因是每一个拓扑相都由一个类似于陈数的全局不变量来描述。之前，该全局不变量通常是整数，即阿贝尔拓扑荷。阿贝尔群元素之间可以实现交换运算，比如， $1+2=2+1$ 。另外，从一个拓扑态到另一个态的转变有一个固定的路径。比如，从1到5需要依次经历2，3和4。因而拓扑系统的边界态的数目可以通过体一边对应来描述，即由边界两边的体态的拓扑不变量的差值决定。

近年来，研究人员提出了非阿贝尔拓扑荷的概念——群元之间的乘法不可交换。当有多个 (>1) 带隙缠结在一起时，系统具有丰富的非交换的辫结构。尽管有许多潜在的应用，但到目前为止还没有在动量空间中直接观测到非阿贝尔拓扑荷的实验报道。

对于一个空间和时间反演对称性保护的具有三条不简并能带的一维体系，其拓扑分类是一个四元数群，该群有五个共轭类： $(+1, \pm i, \pm j, \pm k, -1)$ ，其中有八个元素，元素之间满足 $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$ 。

具体而言，当布洛赫动量 k 从 $-\pi$ 连续变化到 $+\pi$ ，其对应的三个本征态也随之转动，三种不同颜色的本征态分别与三条能带相对应。以拓扑荷 $+i$ 为例，其第2,3两条能带（本征态）旋转了角度 π ，而第1条能带没有转，可以看作是旋转轴。当旋转轴为第2条和第3条能带时，分别对应了 $+j$ 和 $+k$ 。而拓扑荷 $-i, -j, -k$ 则对应旋转角度是 $-\pi$ 。另外，拓扑荷 -1 对应旋转角度是 2π ，并且不同旋转轴之间可以互相连续变换，所以它们属于同一个拓扑分类；拓扑荷 1 则是拓扑平庸的情况，没有发生旋转。

研究人员随后构造了一系列具有不同四元数拓扑荷的传输线网络。实验中，他们测量了每个节点的电压，经过傅里叶变换，就得到了不同拓扑荷的布洛赫能带以及本征态，观察到了对应的本征态旋转。

研究人员还测量了它们的边界态， $+i$ 和 $+k$ 分别对应一个在上带隙和下带隙的边界态， $+j$ 则是上下带隙都有一个边界态。另外， -1 的边界态可以在两个带隙中的任何地方，数目为2个或者3个，实验上测的 -1 的边界态只是其中的一种情况。

该研究还发现，对于非阿贝尔拓扑荷这样的一维体系，两个系统之间的拓扑边界态则是需要通过两个拓扑荷之间的商来预测。例如，如果把属于分类 $+i$ 和分类 $+j$ 的两个样品放在一起，根据群商关系 $+i/+j=-k$ ，其边界态的分布应该和 $-k$ 的边界态一致，这被称之为非阿贝尔商准则。

对于这个结论，研究人员表示可以从传统拓扑理论出发，把每个带隙的Zak相位标出来，然后通过穷举法，把可能的两两组合情况都进行验证，发现都符合该准则。当然，这种穷举法不是一种广泛适用的证明方法，研究人员在文章中还从基本同伦群和Jackiw-Rebbi模型的角度进行了进一步论证。

该项研究实验上首次观测到了非阿贝尔拓扑荷，并提出和证实了非阿贝尔拓扑荷对应的体—边对应准则，该准则可以被推广到任意多能带的非阿贝尔体系，为今后非阿贝尔拓扑领域的研究给出了一个建设性的指导。（来源：中国科学报唐凤）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03521-3>

版权声明：凡本网注明来源：中国科学报、科学网、科学新闻杂志的所有作品，网站转载，请在正文上方注明来源和作者，且不得对内容作实质性改动；微信公众号、头条号等新媒体平台，转载请联系授权。邮箱：shouquan@stimes.cn。

作者：陈子亭等 来源：《自然》

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