

中国科学院物理研究所

Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences

北京凝聚态物理国家研究中心

BEIJING NATIONAL LABORATORY FOR CONDENSED MATTER PHYSICS

首页 > 新闻动态 > 科研动态

中国科学院物理研究所

北京凝聚态物理国家研究中心

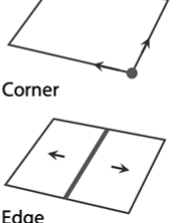
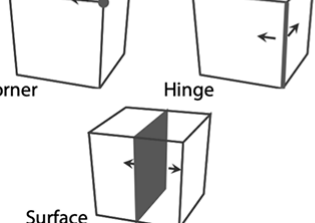
L01组供稿

第98期

2024年09月10日

发现单极子拓扑态

在北京市自然科学基金项目、中国科学院稳定支持基础研究领域青年团队专项、中国科学院战略性先导研究计划、国家自然科学基金项目、和科技部重点研发计划的资助下，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心陆凌研究员课题组的程恒斌、杨靖宇与清华大学高等研究院的汪忠教授合作，基于拓扑能带理论将狄拉克质量设计成单极子构型的空间分布，并在声子晶体中首次实验观测到这种由三维拓扑点缺陷诱导的拓扑带间模式--单极子拓扑态。这个工作实现了Jackiw-Rebbi 48年前的预言，填补了拓扑缺陷态家族的空白，完成了kink（一维扭结）-vortex（二维涡旋）-monopole（三维单极子）的拓扑缺陷模式三部曲，也为最佳单模性的三维拓扑谐振腔奠定了基础。该成果以“单极子拓扑模式的观测（Observation of monopole topological mode）”为题，于2024年08月26日在《自然通讯》（Nature Communications）杂志发表，文章链接：<https://doi.org/10.1038/s41467-024-51670-6>。

Bulk-topological-defect correspondence			
1D	2D	3D	Mass term
 Kink	 Corner Edge	 Corner Hinge Surface	One m_x
	 Vortex dislocation/disclination	 Corner Vortex dislocation/disclination	Two (m_x, m_y)
		 Monopole (predicted in 1976)	Three (m_x, m_y, m_z)

图一，本工作实现了半个世纪前的理论预言，完成了三维空间中的拓扑“体-拓扑缺陷对应”和“零能模三部曲”。

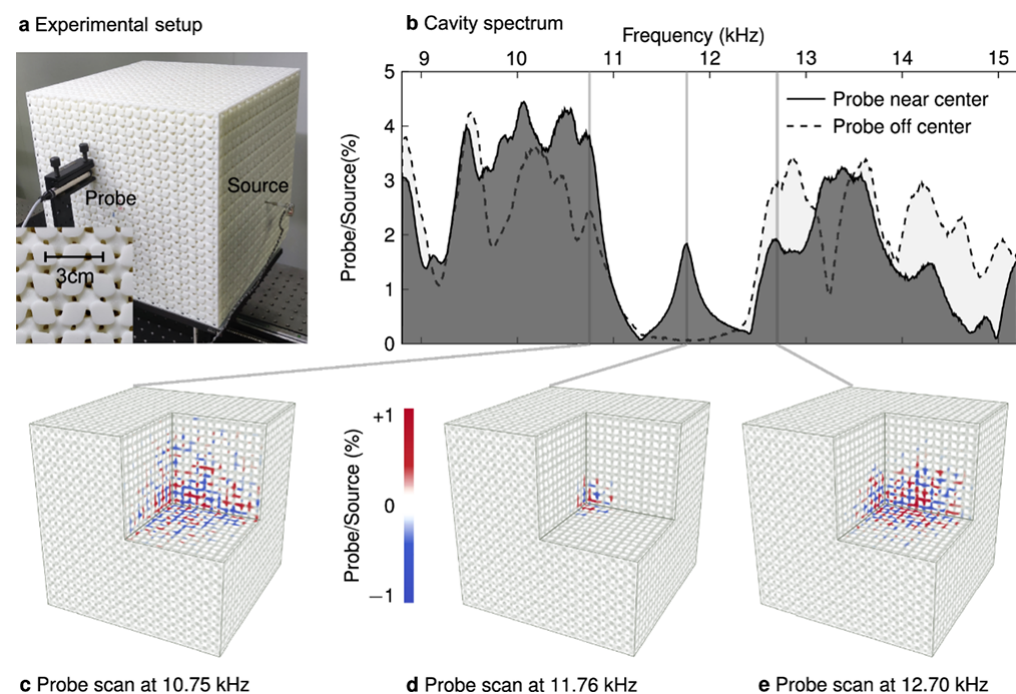
受保护的表面界面态是拓扑物理的核心，通常理解为拓扑“体-边对应”原理，而更广义的对应关系存在于体和拓扑缺陷之间，因为表面界面只是拓扑缺陷的特例。直至今日，一至三维晶格中的其他各类拓扑缺陷上所对应的拓扑态均已被实验发现，包括边、角、棱、扭结、涡旋、位错、向错等，唯有单极子态至今未能实现（见图一）。单极子拓扑态最早由Jackiw和Rebbi在1976年预言，是一种由磁单极子在狄拉克方程中诱导出的零能模式，至今未在任何体系被发现。

研究团队设计了一种具有理想三维狄拉克点能带的高对称声子晶体，通过对狄拉克声子晶体施加对称性破缺的结构扰动打开带隙，得到三个独立的狄拉克质量。将不同质量项描述的带隙结构在空间中映射构成单极子形式的分布，其中心就是一个带隙为零的奇点。这个体系的拓扑不变量是任意整数，质量项在空间的映射可以构成任意多单极子的分布，诱导出任意多个谐振模式，谐振频率都简并于带隙中间。研究团队通过三维打印光固化树脂材料制作出了带单极子缺陷的声子晶体样品，通过测量结构中的声压场，观测到单极子模式的带间态能谱和局域模场分布（见图二）。

文

图

图



图二，单极子声子晶体样品和测量结果。通过频谱测量看到位于带隙中央拓扑模式的谐振峰，通过场扫描得到拓扑模式的空间局域模场以及带边模式的空间扩展模场。

这种支持单极子拓扑模式的体系是一种新型的三维拓扑谐振腔，具有最佳的单模特性，可以用模式间距（FSR）与模式体积（V）的关系来表征。常见谐振腔（比如法布里-珀罗和回音壁腔）和一维扭结谐振腔一样，模式间距与模式体积呈反比关系（ $\text{FSR} \propto V^{-1}$ ）。二维涡旋拓扑谐振腔的模式间距与模式体积呈二次根号反比关系（ $\text{FSR} \propto V^{-1/2}$ ）。三维单极子拓扑谐振腔的模式间距与模式体积的关系达到了三次方根反比关系（ $\text{FSR} \propto V^{-1/3}$ ），这意味着它在模式体积相同的情况下具有最大的模式间距。最早实现的kink模式是现有商用单模半导体激光器的标准设计，近期基于vortex拓扑模式的大面积单模激光器也被提出，现在新发现的monopole拓扑模式为具有更优单模特性的三维谐振器件奠定了基础。

[Nature Communications 15, 7327 \(2024\).pdf](#)

电子所刊 公开课 微信 联系我们 友情链接 所长信箱 违纪违法举报

