
物理所在高维体系中的普适非厄米趋肤效应研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18597.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！

近年来，非厄米能带理论的研究如火如荼。它是传统能带理论在非厄米系统中的扩展，且有独有的特征，主要包括例外点/线（Exceptional points/lines）和非厄米趋肤效应（Non-Hermitian skin effect）。例外点是指布里渊区中稳定存在的能量简并点，在例外点处，能量本征值相同，波函数也发生重合。在哈密顿量没有任何对称性的情况下，例外点可以稳定地存在于二维晶格体系，并满足费米子重叠定理（Fermi doubling theorem）；而在三维，例外线则可以形成各种非平凡的纽结结构。在二维布里渊区中沿着包含（二阶）例外点的闭合路径演化，相应能带的本征值会相互交换，这来源于例外点处色散关系的平方根奇异性。此外，由于平方根奇异性，系统在例外点附近更加敏感，利用这个性质可用来实现传感器等。

具有高条件数的非厄米哈密顿矩阵对微扰很敏感，特别是由开边界到周期边界条件的转变。在这样的非厄米体系中，由于开边界和周期边界下能谱的显著差异，很多周期边界下定义的拓扑不变量不能用来表征开边界下的拓扑边界态。这种传统体边对应的破缺在一维体系中由非布洛赫理论解决。非厄米趋肤效应是非布洛赫理论的核心内容，是指系统哈密顿量的能谱和本征波函数对边界条件的高度敏感性，这一现象已陆续在一系列经典波动系统中被证实。此外，一维非厄米趋肤效应会导致经典波动体系中非互易的响应以及开放量子体系中长时间动力学衰减行为在周期边界和开边界下的显著差异等。因此，非厄米趋肤效应作为非厄米能带理论的核心问题，激励着科学家将其扩展至高于一维的体系中。

目前，已有一些高维趋肤效应的理论提出，如高阶趋肤效应、趋肤效应和拓扑态的杂化等，但高维趋肤效应的一般性理论仍未建立。此外，作为非厄米系统中特有的两种现象，例外点和非厄米趋肤效应是否存在直接联系？

近年来，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T03组研究员方辰、博士研究生张锴，以及卡弗里理论科学中心博士后杨哲森，致力于非厄米能带理论的研究并取得了一系列前沿进展，包括在一维非厄米体系中建立了能谱绕数和非厄米趋肤效应的精确对应，提出了辅助广义布里渊区方法来解析求解广义布里渊区和开边界连续谱等。这些研究揭示了非厄米趋肤效应的拓扑起源，发展并完善了一维体系的非布洛赫能带理论。

近日，该团队在高维非厄米趋肤效应上取得了重要进展，提出了高维体系中的普适非厄米趋肤效应（Universal non-Hermitian skin effect）理论，论证了在最一般的开边界几何形状下，高于一维的体系中趋肤效应出现的充分必要条件，揭示了趋肤效应在高维体系中的普遍性。进一步地，该研究将高维趋肤效应根据响应性质分为两大类，即非互易趋肤效应（Non-reciprocal skin

effect) 和广义互易趋肤效应 (Generalized reciprocal skin effect), 发现并提出了高维中独有的现象, 即几何依赖趋肤效应 (Geometry-dependent-skin effect), 这是一种广义互易趋肤效应。研究还表明, 所有具有稳定例外点的晶格体系都会存在普适趋肤效应, 这也将非厄米体系中特有的两类现象直接联系起来。

相关研究成果以 Universal non-Hermitian skin effect in two and higher dimensions 为题, 在线发表在《自然-通讯》(Nature Communications

) 上。研究工作得到国家重点研发计划、中科院、国家自然科学基金和博士后创新人才支持计划等的支持。

[论文链接](#)

图1. 普适趋肤效应的定理。若谱面积非零, 则哈密顿量在一些一般的开边界几何上表现出趋肤效应; 反之, 哈密顿量在任何开边界几何上都不会出现趋肤效应。

图2.角趋肤效应和几何依赖趋肤效应。普适趋肤效应可以根据电流泛函被分为两类，即非互易趋肤效应和广义互易趋肤效应。其中角趋肤效应和几何依赖趋肤效应分别作为这两类的代表性现象。

图3.具有例外点的光子晶体模型和具有例外线的外尔半金属。

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](http://www.iikx.com)转发