
物理所在非厄米体边对应、趋肤效应与辅助广义布里渊区研究中获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/12164.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！

布洛赫定理和能带理论是凝聚态物理的基石。如果一个物理体系具有离散的平移对称性，体系的本征态可由能量和晶格动量来共同标记。系统的能带是精确描写能量对动量依赖关系的理论。电子的能带理论对于理解材料的性质较为重要，但在真实材料中，系统的平移对称性会被边界所破坏。那么，为什么还可以用布洛赫定理和能带理论来理解真实材料的物理性质呢？在传统的固体物理教科书中，有一个经典的热力学极限的论证：因为实际的材料包含的原子数目非常大（ 10^{23} 的量级），可以把这样的宏观体系看成是一个趋于热力学极限的系统。当原子数目 N 趋于无穷的时候，系统便恢复平移对称性。因此，我们可以用布洛赫定理来近似地描述材料的体态性质。根据这些材料的体态性质能够预言系统在开边界条件下受拓扑保护的边界态的性质，也就是体边对应。在拓扑物态的开发与研究过程中，体边对应发挥重要的作用。上述体边对应的存在依赖于热力学极限论证的正确性。

如何建立非厄米系统的体边对应是近年来凝聚态领域研究的热点之一。2018年，清华大学高等研究院科研人员通过精确解发现，对某类特殊的非厄米体系，其周期边界能谱和开边界能谱可以完全不同。此外，体系所有的本征态都局域在某一边界上。研究人员将这种现象命名为（非厄米）趋肤效应，对应的局域化本征波函数叫作（非厄米）趋肤模。由于趋肤效应的存在，受拓扑保护的边界态完全不能用周期边界的哈密顿量来描述。为恢复体边对应，提出广义布里渊区的概念。借助这一概念，可预言受拓扑保护的边界态的出现与消失（见图1左侧部分），但如何计算广义布里渊区和理解它的性质是重要问题。

近日，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T06研究组研究员胡江平指导的博士生杨哲森，与物理所研究员方辰，博士生张锴、易益妃，在相关领域取得系列性进展，系统研究了趋肤效应出现与否的条件，并提出一种解析计算广义布里渊区的方法，即“辅助广义布里渊区”方法。

实际上，在非厄米系统中，体边对应具有双重含义。如图1所示，在开边界的非厄米系统中，存在两类不同的边界态，一类是通常意义下的受拓扑保护的边界态，它们是有厄米对应的；另一类是非厄米趋肤模，它们没有厄米对应。这两类边界态，对应于两类不同的体边对应。先前研究揭示了图1左边的体边对应，而右边的这类体边对应是非厄米系统所特有的。它联系了两类非厄米特有的现象，即周期边界条件下能谱的拓扑边界态和非厄米趋肤模。这两类体边对应又相互关联。这种关联性体现在两个方面：（1）当周期边界条件下能谱的拓扑是平庸时，非厄米趋肤模便不再出现。此时，广义布里渊区和布里渊区重合，第一类体边对应退化到厄米情况下的体边对应，即受拓扑保护的边界态可以由周期边界条件的布洛赫哈密顿量所定义的拓扑不变量来表征。（

2) 当广义布里渊区和布里渊区不重合时，周期边界能谱和开边界能谱一定也不重合，此时，系统一定存在趋肤模。这意味着周期边界下能谱的拓扑一定是非平庸的。

从上述讨论可以看出广义布里渊区对于理解非厄米体边对应至关重要。利用数学上多项式结式 (resultant) 的概念可以证明，广义布里渊区可以用一个代数多项式来描述。这一代数多项式称为“辅助广义布里渊区”。虽然辅助广义布里渊区包含一些广义布里渊区以外的多余信息，但可以证明辅助广义布里渊区是广义布里渊区的最小解析单元。相比于数值方法，辅助广义布里渊区的方法没有数值误差。不同于厄米情况，数值误差在非厄米系统的研究中是重要且需要谨慎处理的问题。

对称性和非厄米趋肤效应之间有紧密的关系。可以证明，在某些对称性存在的时候，非厄米趋肤效应不会出现。因为真实的体系具有更丰富的对称性，那么，如何在现实的凝聚态体系中实现非厄米趋肤效应？一个简单的例子就是将具有自旋-轨道耦合的Rice-Mele模型耦合到一个金属衬底上。此时，系统将具有 Z_2 趋肤效应。这一模型为后续研究非厄米趋肤效应的新奇物理现象提供了较好的研究平台。

相关研究成果发表在Physical Review Letters上。研究工作得到科技部重点研发计划、国家自然科学基金委员会和中科院的资助。

论文链接：[1](#)、[2](#)、[3](#)



图1.非厄米体边对应的两重含义

图2.传统体边对应的破坏以及如何用广义布里渊区的概念来理解拓扑相变

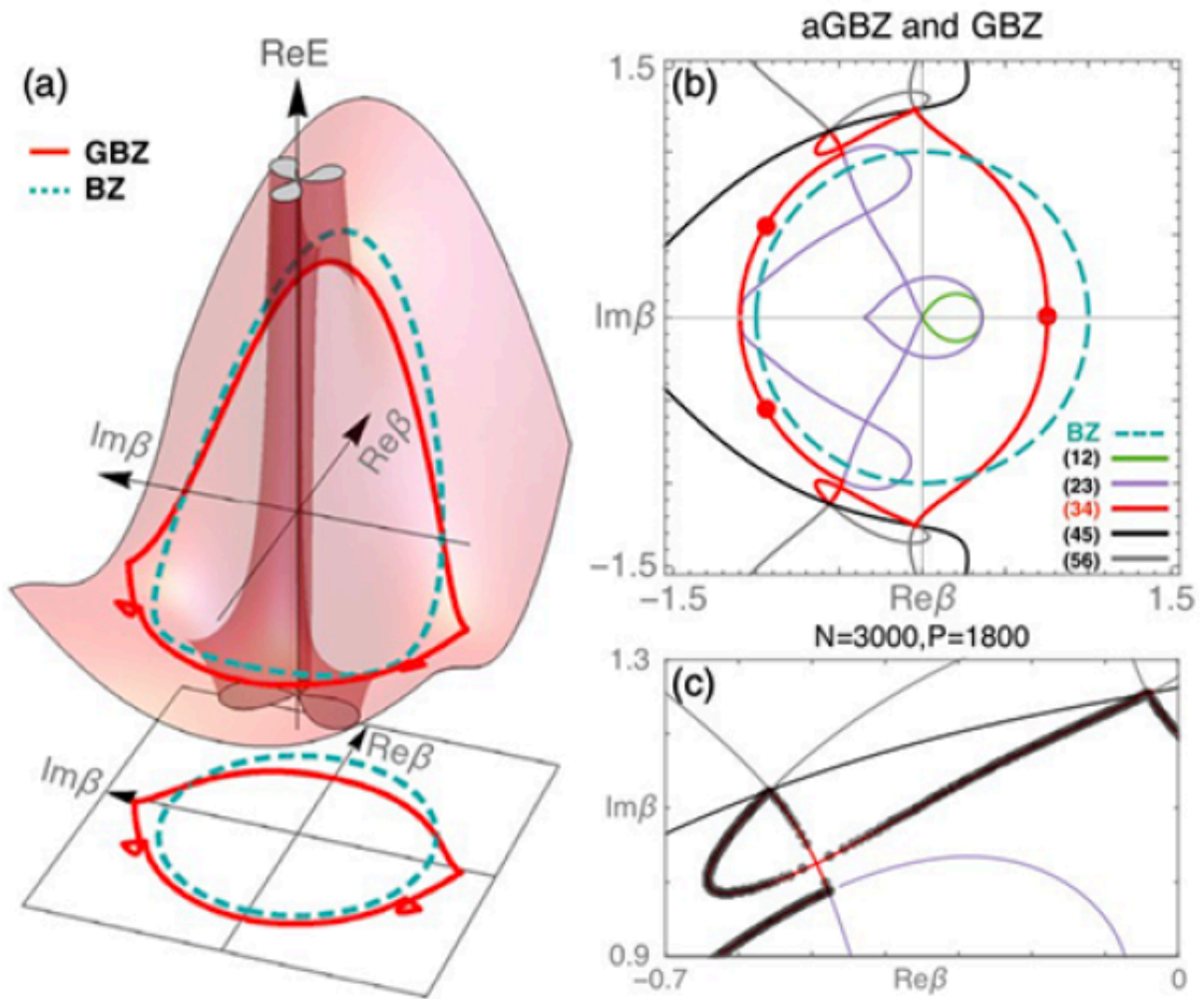


图3.布里渊区 (BZ)、广义布里渊区 (GBZ) 与辅助广义布里渊区 (aGBZ) 的对比

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](https://www.iikx.com)转发