

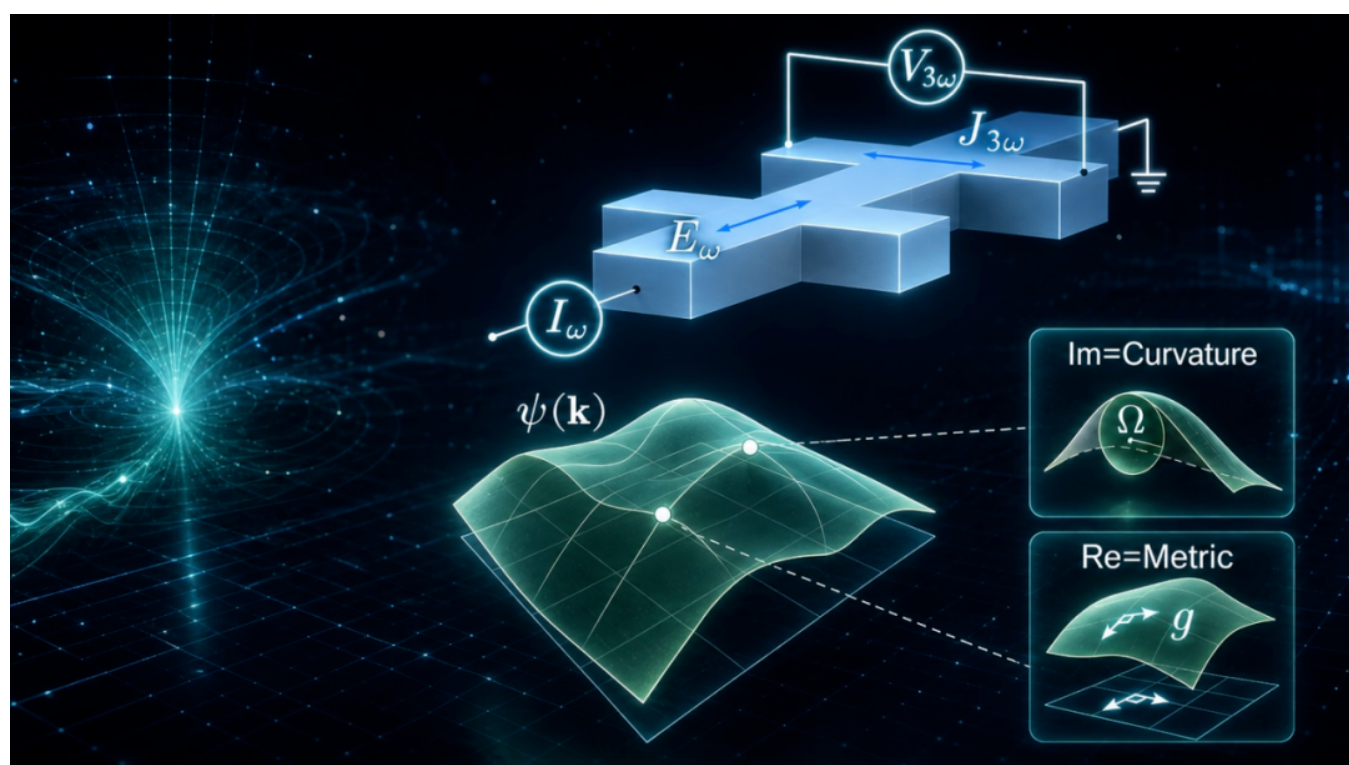
研究揭示量子材料三阶非线性输运机制识别框架

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41733.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！

研究揭示量子材料三阶非线性输运机制识别框架。近日，南方科技大学物理系、量子功能材料全国重点实验室教授卢海舟团队在《物理评论X》发表最新研究。研究团队将量子几何效应与无序散射机制置于统一框架中，系统揭示了三阶非线性输运的20种可能机制，并提出一套结合磁点群对称性诊断与标度律拟合的数据分析方案，为实验上定量区分量子几何贡献和无序散射贡献提供了可操作的机制指纹。



研究示意图。南方科技大学供图

在常规低频交流输运测量中，实验通常读取与驱动电流同频的电压信号。若进一步测量二倍频、三倍频等高次谐波电压，则可以打开观察量子材料几何性质的新窗口。近年来，二阶非线性霍尔效应已被广泛用于探测贝里曲率偶极子和量子度规偶极子；三阶非线性霍尔效应则被认为能够揭示贝里曲率四极子、量子度规四极子，以及同时混合贝里曲率与量子度规的三阶内禀机制。

如何把内禀的量子几何贡献与外禀的无序散射贡献，在同一理论坐标系中逐一比较，并从实验数据中可靠地辨认主导机制，是这一快速发展领域面临的关键难题

研究团队从玻尔兹曼方程出发，同时展开电场作用下的电子速度和非平衡分布函数。量子几何、侧跳和斜散射可以分别进入速度或分布函数的不同阶次；当所有贡献在电场三阶处匹配时，团队得到完整的三阶非线性输运机制框架。除已有研究关注的贝里曲率四极子、量子度规四极子和三阶内禀机制外，框架还纳入了三阶斜散射、三阶侧跳，以及量子几何与无序散射相互混合的多种机制，总数达到20种。

在完整列出机制之后，研究团队进一步解决了怎样从数据中认出它们的问题。其核心是建立三阶非线性电导率与线性纵向电导率之间的标度律关系。

他们发现，在20种机制中，有12种在占主导时具有可区分的权重特征。例如，三阶内禀机制、量子度规四极子机制和贝里曲率四极子机制，分别对应标度律中不同的主导项；若无序散射参与，多个多项式项之间则会出现具有特征比例的组合。团队将标度律用于分析多类已报道的实验数据，包括二维材料、拓扑材料、铁磁材料与交错磁体等。

在实际分析流程上，研究团队给出两步方案：第一步，依据样品或器件的磁点群判断时间反演及旋转、镜面等对称操作是否存在，从而排除对称性禁止的非线性电导率分量和物理机制；第二步，根据体系是否保持时间反演对称性选择相应标度律，对实验数据进行多项式拟合，并通过置信区间判断哪些标度参数具有统计显著性。

该研究建立了一个机制完备、对称性约束、实验可拟合的三阶非线性输运分析框架，使高次谐波输运从定性观察信号，进一步走向对微观机制的定量识别。由于其基本思路并不局限于三阶响应，相关方法还可以推广到任意阶非线性输运，有望推动非线性输运成为探测量子材料几何效应、对称性破缺与相变的通用手段。（来源：中国科学报 刁雯蕙）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1103/515g-qjq8>

作者：卢海舟等 来源：《物理评论X》

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