
科学家发现外尔半金属中巨大热导率量子振荡和手性零声的证据

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/6817.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！

科学家发现外尔半金属中巨大热导率量子振荡和手性零声的证据。众多周知，金属是电的良导体，同时也是热的良导体。这是因为在电子弹性散射的理想情况下，电导率和热导率互成比例，二者满足Wiedemann-Franz (WF) 定律。该定律所描述的热和电的输运关系是朗道费米液体的基本性质之一，但是其在拓扑半金属体系中的适用性仍然不明确。拓扑半金属的电输运测量，尤其是电导率的量子振荡，是理解该类材料拓扑电子物性的关键手段。相比之下，很少有研究者会尝试测量金属或半金属体系的热导率量子振荡。其中一个重要原因是，基于电导率的测量结果和WF定律，可以简单地估计出热导率量子振荡。其通常是非常微弱并难以测量。因此，热导率的量子振荡测量一般被认为既困难也没有太大物理意义和必要性。

最近，《物理评论X》(Phys. Rev. X)报道了中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心极端条件实验室博士项俊森、研究员孙培杰和超导实验室研究员陈根富团队，香港科技大学教授戴希，普林斯顿大学博士宋志达等人关于外尔半金属TaAs的巨大热导率量子振荡的合作研究结果。实验表明，TaAs在低温下具有和电导率量子振荡相同频率的、清晰的热导率量子振荡。这说明二者在本质上都起源于磁场下电子态所形成的朗道能级。令人惊讶的是，热导率的相对量子振荡幅度比电导率还要大。在磁场和热流平行的情况下，热导率量子振荡可以达到WF定律估算值的2个数量级，并且相位和WF定律的预测相反。此外，研究团队还发现平行磁场下的热导率量子振荡背底随磁场强度增加而逐步上升。以上奇特的热输运行为既不符合传统的电子热导率行为，更不符合声子热导率的行为。振荡幅值随温度的降低首先增加，出现一个峰值以后开始降低的行为表明其起源更像是一种低温下全新的低能玻色子激发。

以该实验结果为基础，戴希和宋志达提出了外尔费米子的手性零声概念(Chiral zero sound)，参考论文(Hear the sound of Weyl fermions, Phys. Rev. X 9, 021053 (2019))。这种全新的声波是一种在带间弛豫时间足够长时，由相反手性外尔谷间的电荷密度振动产生的声波模式。因为和磁场平行和反平行的谷间电流互相抵消，手性零声振动不伴随实空间的电荷流动。这一点类似于氦3等中性费米子体系中的零声集体激发。很显然，作为一种声波，外尔费米子的零声可以导热，但不导电，会极大地破坏WF定律。其声速随磁场增加而增加，但是反比于费米面的态密度，因此磁场下可以产生由朗道能级引起的巨大的零声声速量子振荡，实验上表现为热导率的量子振荡。以上工作表明，在拓扑半金属体系中，热导率同样可以成为重要的探测量子输运的手段，况且和电导率反应不同的物理。考虑到外尔费米子的零声对磁场强度和磁场方向的敏感，这一特殊导热机制在未来基于拓扑半金属的功能材料设计方面有望发挥独特的作用。

以色列Weizmann研究所的博士颜丙海受邀在美国物理学会physics 发表了题为The sound of Weyl

fermions 文章，对该实验工作和戴希等人的理论工作进行了详细的评述，评述链接为 <https://physics.aps.org/articles/v12/67>。

上述研究工作得到国家自然科学基金委(11474332, 11474015, 11774018)、科技部(2015CB921303, 2017YFA0303103)以及中科院(XDB07020200)的支持。参与该研究的还包括物理所研究员杨义峰、王建涛，德国马普所教授Frank Steglich以及北京航空航天大学教授陈子瑜和李伟。相关研究结果发表于Phys. Rev. X 9, 031036 (2019)。

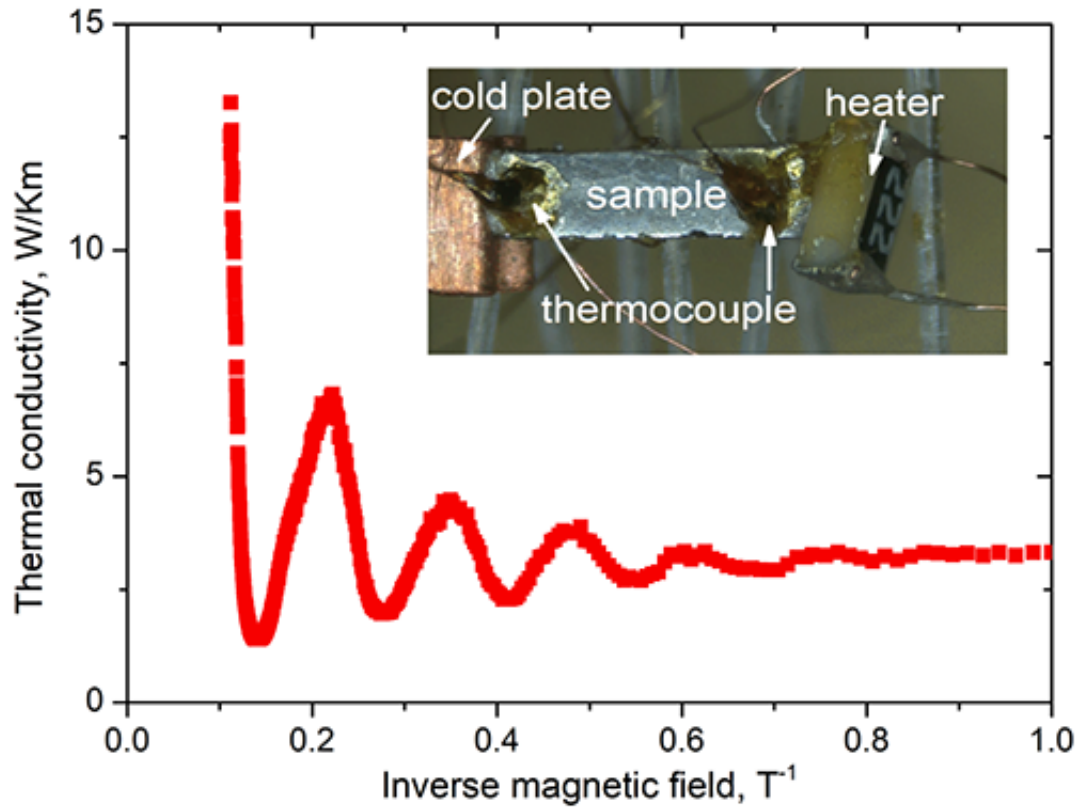


图1：TaAs中的巨大热导率量子振荡和测量图示。该振荡虽然和电导率的频率一致，但是幅度超过了基于电导率和WF定律所预测数值两个数量级。

图2：基于手性零声的热传导示意图 (Binghai Yan, 10.1103/Physics.12.67)。

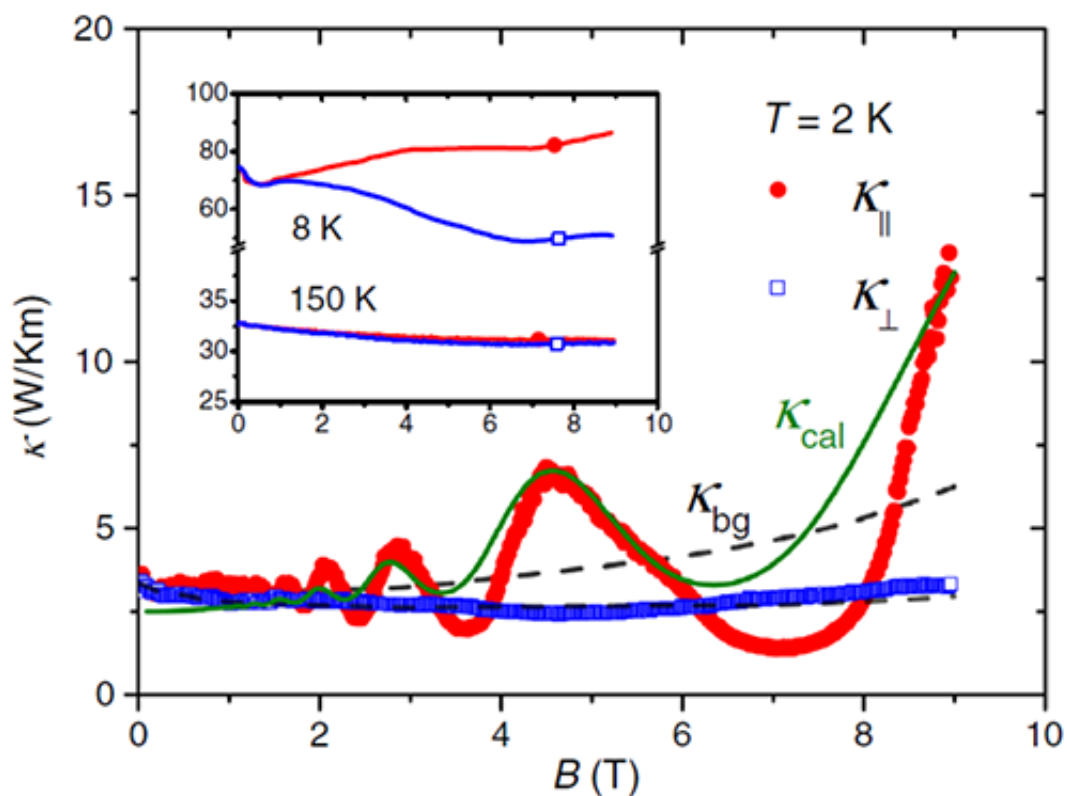


图3：磁场平行和磁场垂直时的热导率对比。巨大的热导率量子振荡主要发生在平行磁场时，其量子振荡可以半定量地用手性零声模型来拟合。

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发