

# 科学家发现马约拉纳零能模中近量子化的电导平台

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/7625.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！**

马约拉纳费米子是由物理学家埃托雷·马约拉纳（Ettore Majorana）预言的一种基本粒子，其具有电中性且反粒子是自身。在凝聚态物理的材料体系中，被拓扑缺陷上束缚的马约拉纳准粒子，其产生湮灭算符满足自共轭关系，通常呈现出零能电导信号，被称为马约拉纳零能模。理论证明，马约拉纳零能模满足非阿贝尔任意子统计规律，是实现容错拓扑量子计算的主要路径之一。

过去的几年里，中国科学院物理研究所/中国科学院大学高鸿钧团队与丁洪团队合作，利用其自主设计组装的国际顶尖水平的极低温强磁场扫描隧道显微镜/谱（STM/S）联合系统精确测量了FeTe<sub>0.55</sub>Se<sub>0.45</sub>单晶样品的超导涡旋，得到了铁基超导中的马约拉纳零能模的实验证据（D. Wang et al., Science 362, 333 (2018)）。随后，他们针对马约拉纳零能模只在部分磁通涡旋中存在这一问题，对铁基超导中的马约拉纳零能模进一步研究，

发现FeTe<sub>0.55</sub>Se<sub>0.45</sub>

单晶样品表面同时存在两种不同类型的磁通涡旋，根据马约拉纳零能模的存在与否，磁通涡旋束缚态的量子化能级序列存在半整数

位的偏移。他们给出了FeTe<sub>0.55</sub>Se<sub>0.45</sub>

样品表面马约拉纳零能模存在的微观物理机制，澄清了马约拉纳零能模的拓扑本质（Nature Physics 15, 1181 (2019)）。

已有的实验提供了马约拉纳零能模存在的大量实验证据，也解释了马约拉纳零能模存在的微观物理机制，但是在新奇物理现象丰富的凝聚态材料中，仍然需要更强有力的实验证据证明零能模信号来源于马约拉纳准粒子，例如，量子化电导平台的实验观测。在固体材料体系中，激发得到的马约拉纳准粒子具有本征的粒子-反粒子对称性，其电子与空穴的组成成分相等。在超导体材料的测量中，一个入射的电子必然会带来一个反射的空穴。超导体表面马约拉纳零能模的出现使得电子与空穴的隧穿概率相等并发生Andreev共振反射，产生独特的量子化的电导平台特征。该特征是马约拉纳零能模存在的关键性实验证据。

最近，高鸿钧团队与丁洪团队进一步合作，利用其极低温强磁场STM/S联合系统开展了相关研究。他们通过连续可控改变针尖与FeTe<sub>0.55</sub>Se<sub>0.45</sub>

单晶样品之间的隧穿耦合强度，观测到了马约拉纳零能模的近量子化电导平台特征（图1）。大量的实验观测表明，该电导平台特征是受到马约拉纳本征电子/空穴对称性保护的马约拉纳零能模所特有的，其他拓扑平庸的磁通涡旋束缚态并不存在这种电导平台特征（图2）。通过严谨的实验测量排除了超导本身电子态的影响，也排除了测量中发生量子化弹道运输的可能。通过对磁通涡旋统计分析，发现了平台电导值近量子化的分布规律，并进一步分析了可能导致平台电导值小于量子化电导 $2e^2$

/h的影响因素，系统能量展宽和准粒子中毒效应（图3）。整个测量过程保证了样品与针尖状态

不会发生改变，测量过程可重复。这一系列实验结果证明了平台电导特征在马约拉纳零能模中普遍存在。

这项研究工作利用STM/S技术，观测到了磁通涡旋中马约拉纳零能模的近量子化电导平台特征，给出了铁基超导体中存在马约拉纳零能模的关键性实验证据，为研究马约拉纳零能模和推动未来拓扑量子计算起到了重

要的作用。相关研究结果于12月12日在《科学

》(Science

)杂志在线发表。中科院物理所、国科大博士生朱诗雨、孔令元、曹路和博士陈辉为共同第一作者，张余洋(国科大)、丁洪、高鸿钧为共同通讯作者。美国布鲁克海文国家实验室研究员顾根大提供了高质量的单晶样品，麻省理工学院教授傅亮提供了理论支持。该工作得到科技部(2015CB921000, 2015CB921300, 2016YFA0202300)、国家自然科学基金委(11234014, 61888102)和中科院(XDB28000000, XDB07000000, 112111KYSB20160061)的支持。

[文章链接](#)

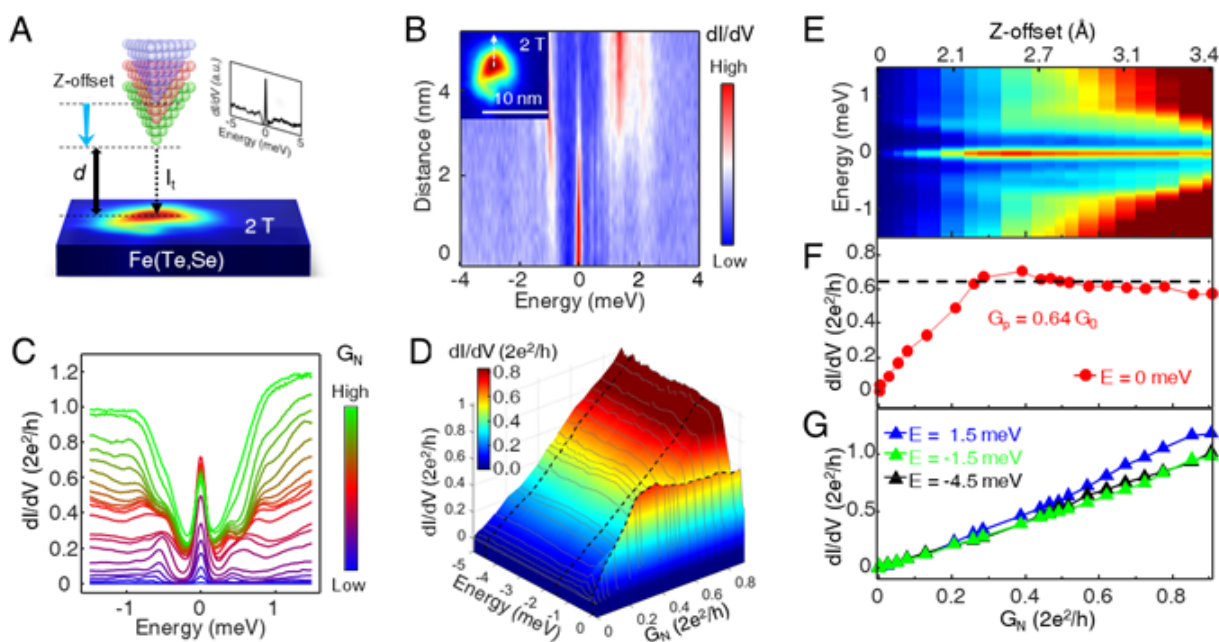


图1  $\text{FeTe}_{0.55}\text{Se}_{0.45}$  表面磁通涡旋中的零能电导平台

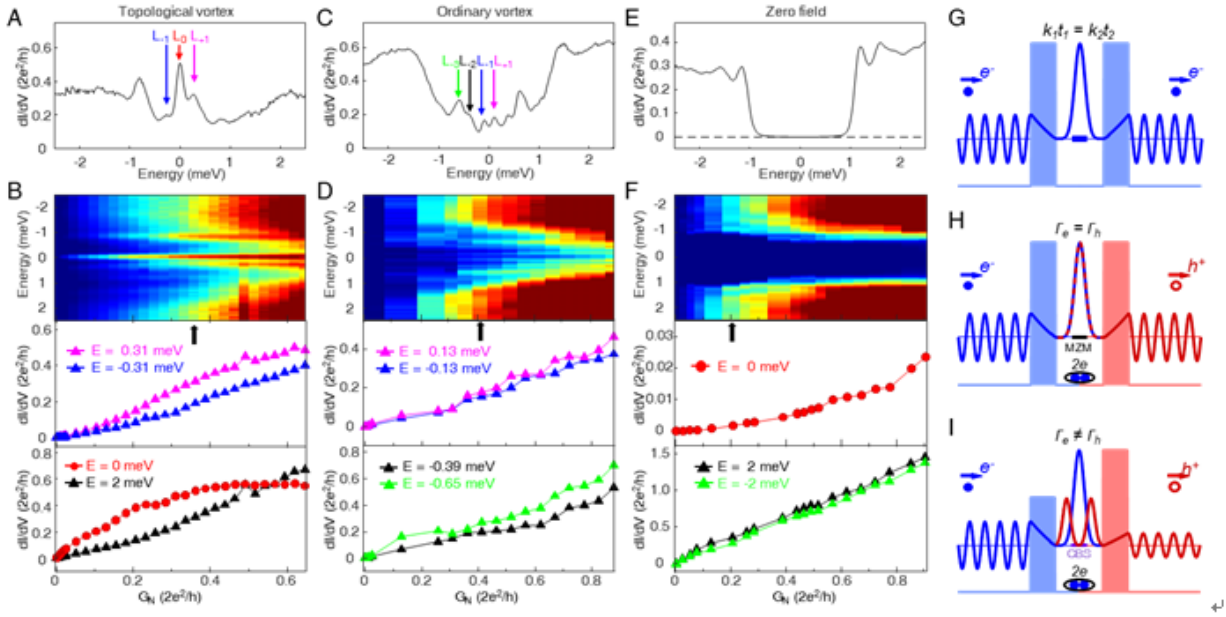


图2 马约拉纳零能模的Andreev共振反射

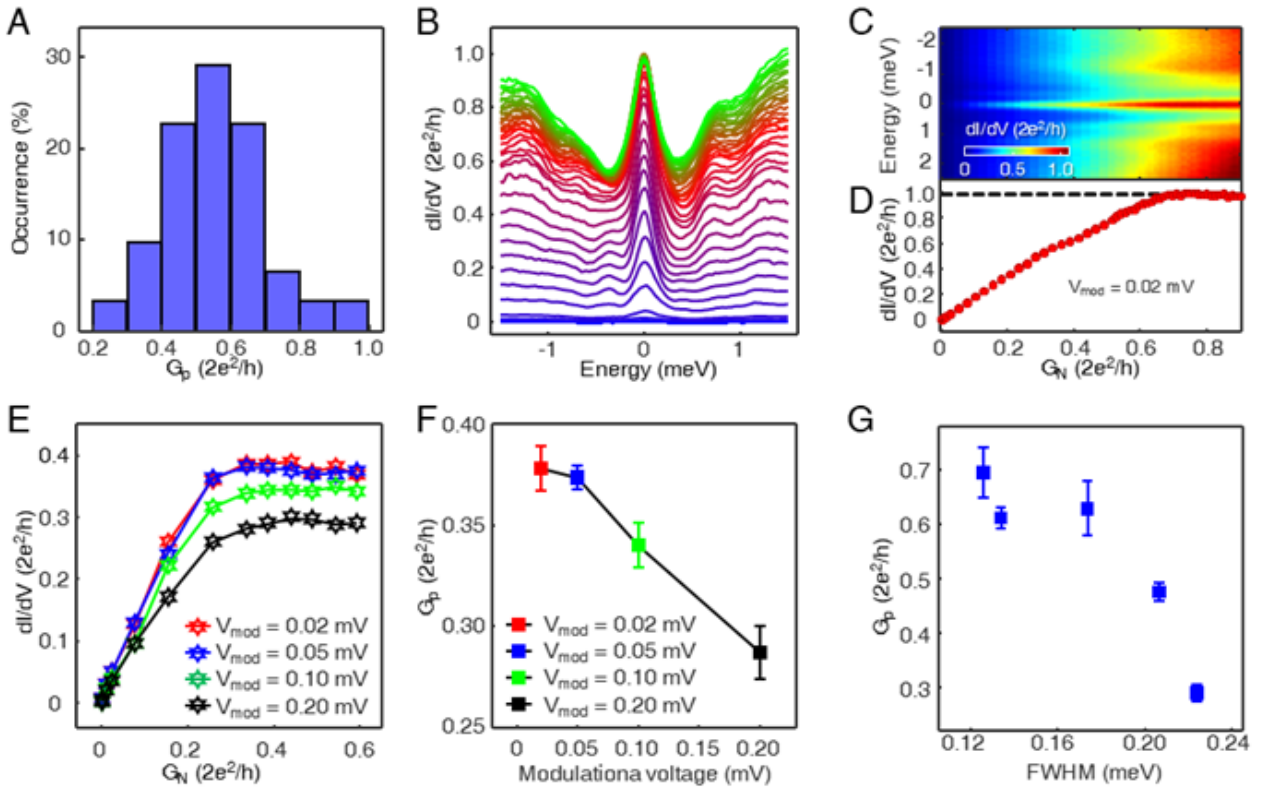


图3 马约拉纳平台电导值的变化规律

研究团队单位：前沿科学与教育局 物理研究所 中国科学院大学

---

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