

专题：探索凝聚态中的马约拉纳粒子

## 探索凝聚态中的马约拉纳粒子专题编者按

DOI: 10.7498/aps.69.110101

年轻的意大利理论物理学家马约拉纳在 1937 年研究狄拉克方程时, 发现了一种奇异的粒子, 其反粒子即其粒子本身. 这种奇异粒子被后人称为马约拉纳粒子. 在已知的基本粒子世界, 除了中微子, 都不是马约拉纳粒子 (Majorana), 而中微子是否是马约拉纳粒子尚待实验检测. 最近以来, 探索马约拉纳粒子的热点转移到了凝聚态. 凝聚态体系由许多原子或电子、离子组成. 虽然构成体系的粒子本身不是马约拉纳粒子, 但其低能下演生的准粒子可以有全新的性质. 比如在 Kitaev 的一维超导链上, 一个电子可被分拆为束缚在链两端的两个马约拉纳粒子, 称为马约拉纳零能模. 又比如, 张首晟和他合作者在理论上阐示的, 在一定条件下量子反常霍尔效应的狄拉克手征边界态可以一分为二, 实现在空间分离的两个手征马约拉纳粒子边界态. 凝聚态中发现马约拉纳粒子将对基础物理有极其重要的意义, 类比于在分数量子霍尔效应发现三分之一的电荷及任意子的统计. 马约拉纳零能模具有非阿贝尔统计, 可以构成拓扑量子比特. 手征马约拉纳粒子可以设计实现电子态的非阿贝尔量子门操作. 它们均可用于组建拓扑量子计算机, 其应用前景十分可观. 由于其在基础物理上的重大意义及在量子计算的可能应用, 马约拉纳粒子已成为凝聚态研究的前沿课题. 在实验方面, 目前在包括超导纳米线、一维原子链, 以及拓扑超导涡旋中都有观察到马约拉纳零能模的诸多证据. 编织零能模显示非阿贝尔统计的实验尚待努力. 关于手征马约拉纳粒子的实验, 最初的观察报道至今尚未能重复, 争议较大. 我相信, 理论预言的手征马约拉纳粒子会在合适的材料器件上发现. 分数量子霍尔效应中的任意子的分数统计自理论预言至最近的实验证实经历了三十几年, 凝聚态中马约拉纳粒子的研究仅刚刚开始.

应《物理学报》编辑部的邀请, 我和丁洪邀请了部分活跃在研究马约拉纳粒子第一线的中青年科学家, 组织了本期的专题. 胡晓与其合作者详细讨论了拓扑超导机理, 并介绍了各种体系马约拉纳零能模及其新奇性质; 刘雄军与其合作者综述了马约拉纳零能模的统计性质及其在量子计算中的应用; 孔令元和丁洪详细综述了铁基超导涡旋中观察到的马约拉纳零能模及其性质; Yu-Shiba-Rusinov 态是一维原子链中马约拉纳零能模的基础, 李肇讨论了基于 Yu-Shiba-Rusinov 态的拓扑超导的普遍理论; 王靖详细介绍了他与张首晟等合作者研究的基于量子反常霍尔效应的手征马约拉纳粒子以及设计的量子计算门; 另一位受邀撰文李耀义和贾金锋综述了在人工拓扑超导体涡旋中寻找马约拉纳零能模 (文章已提前在《物理学报》2019 年第 13 期发表). 他们从不同的角度综述了与凝聚态中马约拉纳粒子有关的理论或实验, 反映了此领域的一些现状, 希望对读者了解此前沿课题有所帮助.

(客座编辑: 张富春 中国科学院大学卡弗里理论科学研究所; 丁洪 中国科学院物理研究所)

SPECIAL TOPIC—Majorana in condensed matter

### Preface to the special topic: Majorana in condensed matter

DOI: 10.7498/aps.69.110101