

[快速导航 \(../ksdh/xs1.htm\)](#)

[首页 \(../index.htm\)](#) [院庆廿年 \(https://www.phy.pku.edu.cn/yq20/index.htm\)](https://www.phy.pku.edu.cn/yq20/index.htm) [院内门户 \(http://portal.phy.pku.edu.cn/\)](http://portal.phy.pku.edu.cn/) [旧网站 \(http://www2.phy.pku.edu.cn/\)](http://www2.phy.pku.edu.cn/)

[English \(http://english.phy.pku.edu.cn/\)](http://english.phy.pku.edu.cn/) |

[Peking University \(https://www.pku.edu.cn\)](https://www.pku.edu.cn)

[学院概况](#)

[教职员工](#)

[新闻公告](#)

[学术活动](#)

[\(../index.htm\)](#)

[教育教学](#)

[科学研究](#)

[物理校友](#)

[办公服务](#)

[\(../xygk/xyjj.htm\)](#) [\(../xwgg/xwdt.htm\)](#) [\(../xsbgl.htm\)](#)

[\(../jyj/bkl/ksyj/yjfx.htm\)](#) [\(../xyxx/bw/hjstwm.htm\)](#)



科研成果

当前位置: [首页 \(../index.htm\)](#) >> [科学研究 \(../kxyj/yjfx.htm\)](#) >> [科研成果 \(../kxyj/kycg.htm\)](#) >> 正文

科学研究

研究方向

[\(../kxyj/yjfx.htm\)](#) +

重大项目

[\(../kxyj/zdxm.htm\)](#)

科研机构

[\(../kxyj/kyjg1.htm\)](#)

科研成果

[\(../kxyj/kycg.htm\)](#)

谢心澄院士课题组及合作者在自旋超导态中非阿贝尔编织效应的研究中取得新进展

发布日期: 2022-03-16 浏览次数: 684

供稿: 吴宜家 | 编校: 孙祎 | 编辑: 孙嘉琪 | 审核: 冯济



在自旋非零（通常由铁磁序引起）的激子（电子-空穴对）凝聚体中，由于激子内部的库伦吸引势起到了类似超导配对势的作用，因此该激子凝聚体可以通过其自旋与磁场梯度的耦合，产生出一系列与传统电荷超导相对应的效应。上述理论最早于2011年（Physical Review B 84, 214501）由谢心澄院士和孙庆丰教授等人提出，这种新奇的物态也相应地被命名为“自旋超导态”。此后，自旋超导这一概念受到了持续关注，包括自旋输运、电迈斯纳效应、类金兹堡-朗道理论等在内的一系列自旋超导态的新奇特性被相继提出。

过去约二十年间针对拓扑量子计算的研究，主要集中于具有非阿贝尔编织效应的Majorana零模。这种非阿贝尔编织效应来源于Majorana零模在编织过程中大小为 π 的非阿贝尔几何相位和Majorana零模基态构成的简并空间，而其中由Aharonov-Bohm效应所引起的几何相位 π 又来源于涡旋态的周期性边界条件，以及Majorana零模有效电荷是超导体中库珀对电荷的二分之一的特性。

最近，北京大学“博雅”博士后、北京大学物理学院量子材料科学中心吴宜家在合作导师谢心澄院士的指导下，与西安交通大学理学院刘杰副教授、苏州大学物理科学与技术学院江华教授、浙江师范大学物理与电子信息工程学院陈华副教授、北京师范大学物理学系刘海文教授等合作，深入研究了利用自旋超导实现非阿贝尔编织效应的可能性。联合研究团队注意到如果自旋超导体具有拓扑非平庸的性质，那么其中的涡旋束缚态同样具有上述Majorana零模所具备的三大特征：简并基态、1/2大小的有效“荷”、周期性边界条件。相比于拓扑超导体中的Majorana零模，自旋超导体中的有效“荷”是指自旋而非电荷。相应地，在自旋超导的非阿贝尔编织过程中，大小为 π 的非阿贝尔几何相位将由Aharonov-Casher效应而非Aharonov-Bohm效应引起。基于上述思路开展的理论研究指出了在自旋超导态中利用Aharonov-Casher效应实现非阿贝尔编织的可能性。

由于电迈斯纳效应，自旋超导态中会出现电场通量梯度所形成的涡旋。在拓扑非平庸的自旋超导体中，该涡旋附近会束缚一个有效自旋是激子自旋1/2大小的拓扑边态。利用该1/2大小自旋的Aharonov-Casher效应，该拓扑边态可以展现出与Majorana零模类似的非阿贝尔编织特性。此外，相比Majorana零模，上述自旋超导体中的拓扑边态具有非零的电荷，因而原则上更容易为实验所探测。联合研究团队还从电磁多极矩展开的角度，指出了自旋超导是除电荷超导外，利用电磁荷实现非阿贝尔编织的“最小”方案。实验上，拓扑非平庸的自旋超导态可通过带有错列势的铁磁石墨烯等体系实现。上述进展指出了一条有别于传统电荷超导与Majorana零模的，研究非阿贝尔编织效应乃至拓扑量子计算的全新途径。

Xiao-Gang Wen
2015年8月19日 · ③
How to obtain non-abelian statistics in condensed matter? Here is a way via the pariton (projective) construction (<http://journals.aps.org/.../10.1103/PhysRevLett.66.802>):



摘自美国麻省理工学院文小刚教授Facebook个人主页的一幅漫画。漫画中的科学家将一个电子劈成两半，文小刚教授以此漫画比喻科学家将电子一分为二得到Majorana零模，而Majorana零模的编织效应满足非阿贝尔统计。谢心澄课题组和合作者的方案则是将一个自旋一分为二，并藉此实现非阿贝尔编织效应。

2022年3月11日，相关研究成果以“自旋超导体中利用Aharonov-Casher效应实现非阿贝尔编织”（Non-Abelian Braiding in Spin Superconductors Utilizing the Aharonov-Casher Effect）为题在线发表于《物理评论快报》（Physical Review Letters）。吴宜家为第一作者，刘杰和谢心澄为共同通讯作者。

上述研究工作得到了国家重点研发计划、国家自然科学基金、中国科学院战略性先导科技专项、中国博士后科学基金等的大力支持。

论 文 链 接 : <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.106804>
(<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.106804>).

Copyright © 北京大学物理学院