



新闻动态

科技新闻

通知公告

支部活动

学习园地

信息公开

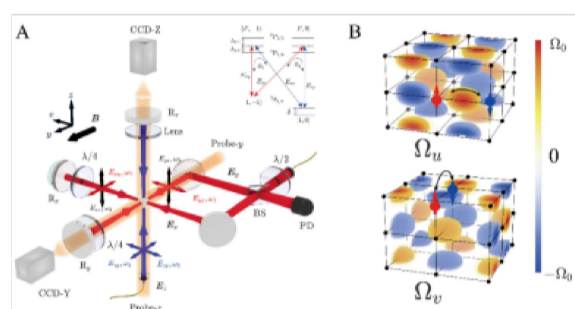
科技新闻

当前位置: 首页 | 新闻动态 | 科技新闻

外尔物理量子模拟取得重要进展：中国科大在超冷原子体系实现理想外尔半金属态

来源: 科研部 发布时间: 2021-04-19 浏览次数: 84

中国科学技术大学潘建伟、陈帅等与北京大学刘雄军等合作，在超冷原子模拟拓扑量子材料方面取得了重要进展。研究团队在国际上首次利用超冷原子体系实现了三维自旋轨道耦合，并构造出有且仅有一对外尔点的理想外尔半金属能带结构。该研究成果于4月16日以研究长文（Research Article）的形式发表在国际学术期刊《科学》杂志上 [Science 372, 271-276 (2021)]。由于该工作开启了超越传统凝聚态物理的外尔型拓扑物理的量子模拟，《科学》杂志在同期的观点栏目（Perspective）专门配发了题为“The Weyl side of ultracold matter”的评论文章。

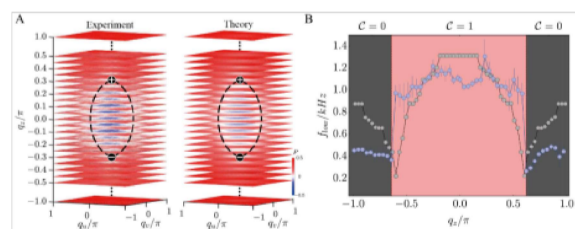


图一：A，三维自旋轨道耦合装置示意图。B，实验构造的三维拉曼势结构，导致原子在格点之间的自旋翻转隧穿。

外尔半金属（Weyl semimetal）是一类重要的拓扑物态，其能带中的外尔点结构具有许多奇异的性质：它是一种拓扑磁单极子，且总是成对出现，在其附近的低能激发的运动模式符合“外尔费米子”的方程，最早于1929年由德国科学家赫尔曼·外尔提出。有且仅有两个外尔点的外尔半金属—理想外尔半金属，是外尔半金属“家族”中最为基础的一员，由其衍生的有相互作用关联相总是拓扑非平庸的。在凝聚态材料中，尽管近几年外尔半金属材料取得诸多重要进展，这种仅有两个外尔点的外尔半金属尚未实现。

超冷原子体系具有环境干净，高度可控等重要特性，通过超冷原子研究拓扑量子物态目前是量子模拟领域中一个活跃的方向，其中人工合成自旋轨道耦合是实现拓扑物相的一项重要技术。实现外尔半金属等高维拓扑物态的模拟，三维自旋轨道耦合是其必要条件。这意味着需要构建更加复杂的三维非阿贝尔规范势，一直是超冷原子量子模拟领域的重大挑战。

在超冷原子自旋轨道耦合的研究方面，中国科大通过和北大合作一直处于研究前沿。2016年，实验团队就和北大理论组合作，提出并构建了二维拉曼耦合光晶格，实现了二维自旋轨道耦合拓扑量子气 [Science 354, 83-88, (2016)]。近期，北大的理论团队在原二维系统的基础上提出了三维自旋轨道耦合和理想外尔半金属的新型拉曼光晶格方案 [Science Bulletin 65, 2080-2085 (2020)]。实现三维自旋轨道耦合和理想外尔半金属能带，实验上面临两个技术难题，一是怎样把二维形式的拉曼耦合拓展到三维结构；二是怎样利用传统的二维成像进行三维动量空间的探测。为此，联合研究团队设计了巧妙的光路，通过将光晶格“旋转”45°，并将相位锁定，准确构造出理论方案中三维结构的拉曼势，合成三维自旋轨道耦合（图一），同时通过调节实验参量合成了有且仅有两个外尔点的能带结构。在探测方面，研究团队借鉴了北大组和香港科技大学G.-B. Jo组合作提出的虚拟断层成像法 [Nat. Phys. 15, 911 (2019)]，并应用到当前的三维光晶格体系。利用体系的对称性，通过调节拉曼失谐等效得到z方向不同动量平面上的自旋纹理，再重构出三维动量空间的自旋纹理，找到外尔点；随后利用量子淬火动力学提取出该平面能带的拓扑特征，进而确定外尔点的位置。两种方法互相佐证，印证了理想外尔半金属能带的实现。



图二：A,通过虚拟断层成像法重构三维自旋纹理，找到两个外尔点的位置。B，通过量子淬火动力学对外尔点位置的标定。

《科学》杂志的审稿人对这一工作给予高度评价，认为这项工作“为冷原子体系研究外尔物理中的新奇现象打开了新的方向”（...a very interesting work which opens a new direction of investigating exotic phenomena associated with the Weyl physics for ultracold atoms）、“作为三维自旋轨道耦合在冷原子体系的首次实现，是领域中的重要进展，并为冷原子研究提供了新的工具”（...this is the first time that 3D spin-orbit coupling was ever achieved in a cold atom experiment. This, in itself represents a significant progress and an important addition to the cold atom toolbox.）、“对理想外尔点的实现是非常有价值的结果，为固体系统提供了起到互补作用的研究方向”（Realizing ideal Weyl cones in cold atom systems is thus an extremely valuable objective and will provide an angle of attack that is complementary to solid-state systems.）。

在该研究工作的基础上，研究团队将进一步开展外尔半金属中更奇特的现象和物理过程的探索。本工作的技术方案也可以推广到费米子体系，开展强关联拓扑物理的研究。该成果有望极大推动量子模拟领域的发展。

该研究工作得到了科技部、国家自然科学基金委、中科院、教育部、安徽省和上海市等的支持。

论文链接: <https://science.sciencemag.org/content/372/6539/271>

(合肥微尺度物质科学国家研究中心、物理学院、中科院量子信息与量子科技创新研究院、科研部)



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

科研部

Copyright 2009-2020 中国科学技术大学科研部 All Rights Reserved.
电话: 0551-63601954 传真: 0551-63601795 E-mail: ustckjc@ustc.edu.cn
办公地址: 安徽省合肥市包河区金寨路96号中国科大东区老图书馆三楼 邮编: 230026



微信公众号



事业单位