

物理所自旋-轨道耦合的三组分费米气体研究获进展

文章来源：物理研究所

发布时间：2014-06-17

【字号：小 中 大】

自旋-轨道耦合将粒子的两个内禀属性——自旋及轨道运动，有机地联系在一起，导致凝聚态物理和原子分子物理中许多重要的宏观和微观物理效应。近年来，自旋-轨道耦合的超冷原子气体的研究取得了飞速发展。不同于电子的自旋-轨道耦合，中性原子的自旋-轨道耦合是在超精细结构基础上，通过控制激光和原子间的相互作用，将原子的自旋和动量联系在一起。利用这一原理，2011年美国国家标准技术局的Spielman研究组首次在铷原子中应用双光子拉曼过程实现了自旋-轨道耦合的玻色-爱因斯坦凝聚。冷原子体系所特有的高纯性和可调控性，以及原子自旋组分的多样性，为挖掘自旋-轨道耦合的新效应和新物理创造了更广阔和更理想的物理环境。近年来，对于不同维度中不同类型自旋-轨道耦合的超冷费米气体的研究引起了广泛关注，其中磁性和超导并存的，有限动量的Fulde-Ferrell (FF) 超流态是研究的一个热点。

最近，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室（筹）凝聚态理论与材料计算实验室的“百人计划”研究员崔晓玲和研究生周黎红，与中国科学技术大学的易为教授合作，针对自旋-轨道耦合的超冷费米气体这一热点领域开展理论研究，取得了重要进展。他们将少量杂质原子加入到一个无相互作用，自旋为 $1/2$ 并带有自旋-轨道耦合的费米气体中，且杂质原子只与后者的一种自旋组分有相互作用（图1）。这一体系很容易在有Feshbach共振的冷原子的混合气体（例如锂和钾）中实现。对这样一个三组分费米原子系统，由于自旋-轨道耦合与自旋选择作用之间的相互影响，一个自然的结果就是原子间有限动量的配对，即FF态。这种FF态的配对机制与传统的配对机制有显著区别，它并不依赖于不同自旋组分费米面的不匹配，而主要取决于自旋-轨道耦合的存在以及相互作用的特殊性。

他们从最基本的两体束缚态出发，通过计算发现其基态确实具有非零的质心动量；在考虑自旋 $1/2$ 原子形成费米海的情况下，发现通过调节自旋-轨道耦合及相互作用强度，束缚态会出现两类有限动量配对态间的竞争（图2）；这一结果也导致多体系统中两类FF超流态间的一级相变（图3）。这些系统的研究表明，FF配对是这一系统内禀的配对机制，且对于所有的态，无论是两体分子态、极化子态，还是多体超流态，配对现象都在很大的参数区间内存在。与此相反，对于传统的无自旋-轨道耦合的超导体，FF态只在一个很窄的相互作用和磁场参数区间才出现。这些系统的理论研究可以由当前的冷原子实验直接进行验证，为实验上有效地制备和探测这种奇异的有限动量超导配对机制提供了便捷条件。

该工作得到了国家自然科学基金和中科院“百人计划”的支持，已发表在近期出版的*Physical Review Letters* 112, 195301 (2014)上。

[文章链接](#)



图1. 有自旋-轨道耦合的三组分费米混合气体模型

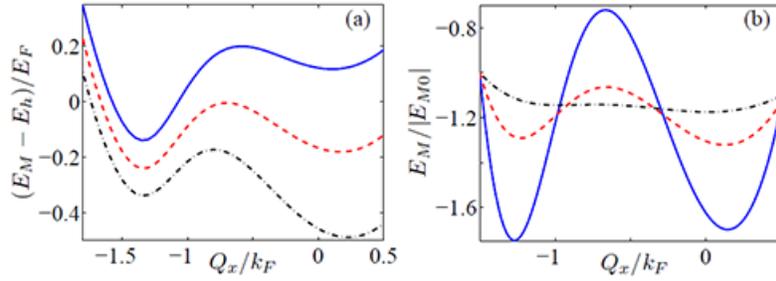


图2. 两体束缚能与质心动量间的关系曲线：（a）不同自旋-轨道耦合强度（b）不同的相互作用强度

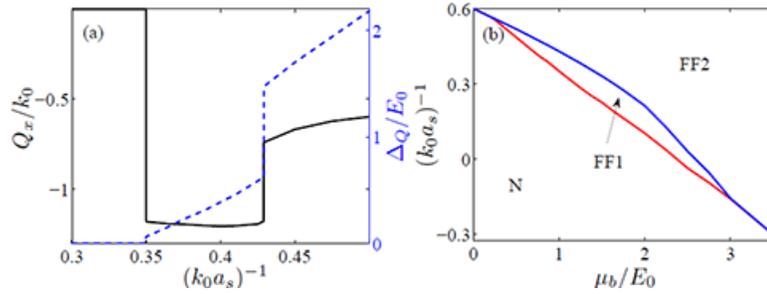


图3. （a）质心动量和超流能隙与相互作用强度的关系图；（b）多体超流相图。红线为正常态（N）到一类有限动量超流态（FF1）的相变边界；蓝线为两类不同有限动量超流态（FF1与FF2）的相变边界。

打印本页

关闭本页