

物理所等铁基超导体的量子临界特性研究取得新进展

文章来源：物理研究所

发布时间：2013-06-24

【字号：小 中 大】

非常规超导体中所呈现奇异量子物性的物理根源常常认为来自于零温下的量子相变及其相关涨落。在铁基超导体中，通过对反铁磁母体进行载流子或等价位掺杂均可抑制反铁磁性，并在磁性区域边缘诱导出最佳超导性。因此，在反铁磁区和顺磁区的零温边界处很可能存在磁量子临界点，在其附近的有限温度区域会因量子临界特性而影响正常态和超导态物性，形成非常规超导性。以“122”型铁基超导体为例，相关研究表明在电子型掺杂的 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ 和等价位掺杂的 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 体系中就很可能在最佳掺杂点附近存在量子临界点。进一步要得到铁基超导体中量子临界点的有力证据，关键在于需要仔细描绘出体系的电子态相图，尤其是在反铁磁区域边缘和最佳掺杂点附近的相变特征。

近年来，中科院物理研究所 / 北京凝聚态物理国家实验室(筹) 超导国家重点实验室的戴鹏程研究员及其团队在电子型掺杂铁基超导体 $\text{BaFe}_{2-x}\text{Ni}_x\text{As}_2$ 中针对量子临界问题开展了一系列的中子散射研究。他们发现随着电子掺杂浓度的增加，母体中的长程反铁磁序在靠近最佳掺杂点附近会退化为短程非公度反铁磁序，并与超导序之间存在直接竞争关系，并且最佳掺杂点附近不存在传统的磁量子临界点【*Phys. Rev. Lett.* 108, 247002 (2012)】。这一研究结论看似与 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ 和 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 等体系的研究结果截然相反，也针对量子临界点在非常规超导体中的作用提出了疑问。

为深入探究铁基超导体中量子临界问题的物理根源，最近，戴鹏程研究组的博士生鲁兴业、张睿和副研究员罗会仟等与加拿大多伦多大学的Hlynur Gretasson博士、Young-June Kim教授等人综合利用弹性中子散射和同步辐射高精度X射线衍射技术，继续对电子型铁基超导体 $\text{BaFe}_{2-x}\text{Ni}_x\text{As}_2$ 的磁相变和结构相变开展了深入的合作研究，获得了目前电子型“122”体系在最佳掺杂点附近最为详细电子态相图(图1)。

他们发现，尽管母体中结构相变温度 T_S 和反铁磁相变温度 T_N 是重合的，进一步电子掺杂的引入使得系统进入欠掺杂区域， T_S 和 T_N 逐渐下降并分开，温度差距也逐渐增大，而后两者又逐渐趋近，并有在最佳掺杂附近形成“双量子临界点”的趋势(即两者在同一掺杂点趋于零温，见图2)。然而，由于电子掺杂效应同时诱导了短程非公度反铁磁序的出现，使得系统尚未抵达相图中零温处便中止了结构和反铁磁相变，表现为 T_S 和 T_N 在最佳掺杂点 $x=0.1$ 附近的有限温度($T_c+10\text{K}$)处再次重合到同一温度点(图1插图)，且反铁磁矩在 $x=0.108$ 附近彻底消失(图3)。即短程非公度磁有序在最佳掺杂点附近最终“取代”了零温下的量子临界点，而将相变点推高至有限温度处。在该相区内，结构畸变尽管在超导转变温度 T_c 之下受到抑制，但直到低温都一直存在(图4)，并且磁矩和结构畸变有着相似的温度依赖行为，表明体系中存在着磁弹性耦合。据此，美国莱斯(Rice)大学的斯其苗教授和Andriy Nevidomskyy教授基于Landau-Ginzburg相变理论提出了铁基超导体中量子临界的唯象物理模型。他们利用该模型成功解释了因磁弹性耦合而导致双量子临界点的物理过程及其“被取代”的物理根源。该模型同样适用于描述等价位掺杂材料中的量子临界特性，从而统一解释了铁基超导中量子临界特性的物理起源，对非常规超导体中量子临界问题的研究有重要意义。该项研究结果发表在近期的*Physical Review Letters*上【*Phys. Rev. Lett.* 110, 257001 (2013)】。

上述研究工作中的高精度X射线衍射实验与加拿大多伦多大学的Hlynur Gretasson博士、Young-June Kim教授和美国布鲁克海文国家实验室NSLS同步辐射光源的刘雪荣博士合作完成，中子散射实验与瑞士散裂中子源(SINQ)的Mark Laver，美国橡树岭国家实验室HFIR中子源的Wei Tian，以及加拿大中子研究中心(CNBC)的Zahra Yamani等合作完成，理论模型和分析与美国莱斯(Rice)大学的斯其苗教授和Andriy Nevidomskyy教授合作完成。

该研究工作得到了科技部“973”项目、国家自然科学基金青年基金项目以及美国和加拿大相关科学基金等项目的支持。

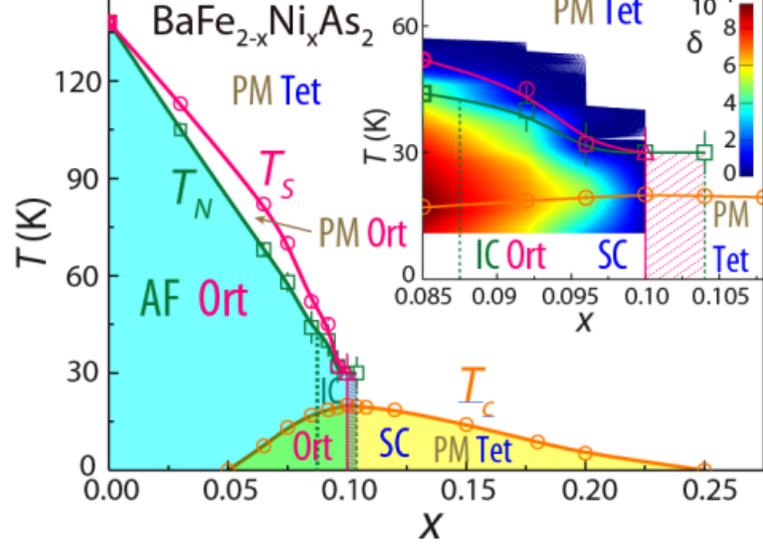


图1. $\text{BaFe}_{2-x}\text{Ni}_x\text{As}_2$ 电子态相图。插图为最佳掺杂点 $x=0.1$ 附近的放大图。其中 Ort 表示正交相，Tet 表示四方相，SC 表示超导，AF 表示反铁磁，IC 表示非公度磁序，PM 表示顺磁。

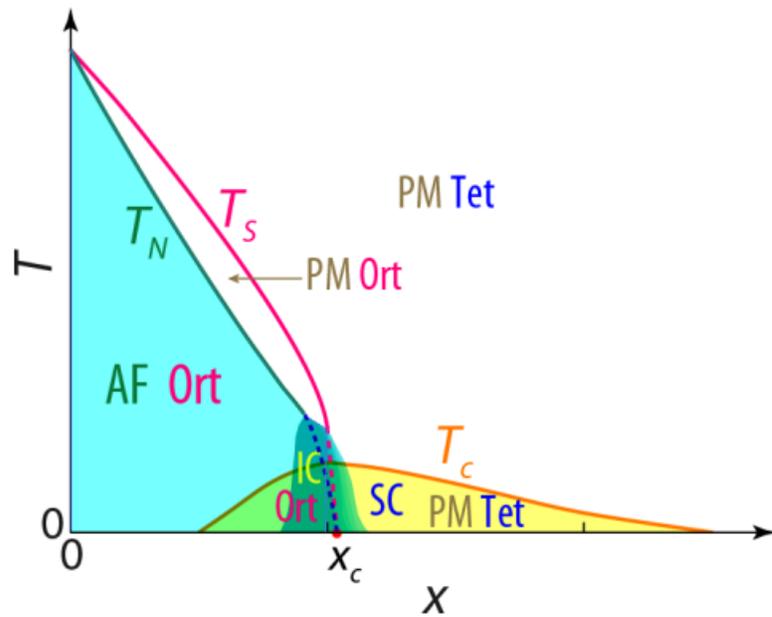


图2. “被取代”的双量子临界点理论示意图。

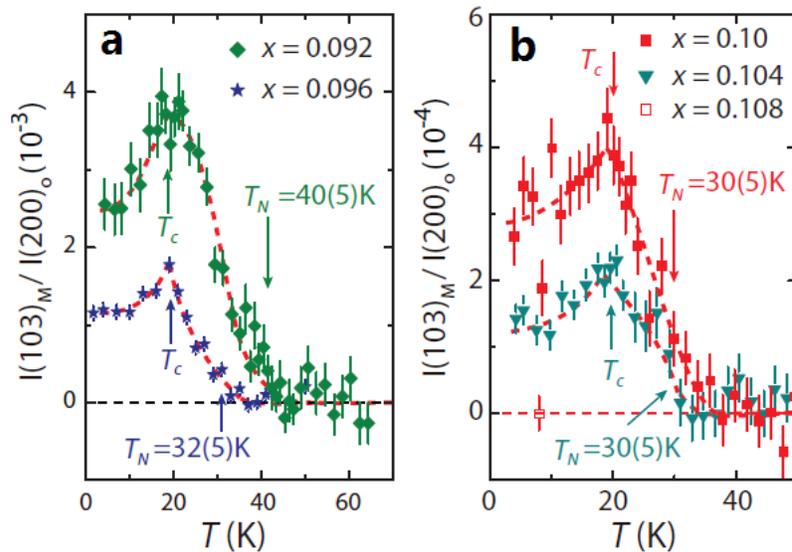


图3. 最佳掺杂点 $x=0.1$ 附近的反铁磁序参量随温度的演变。

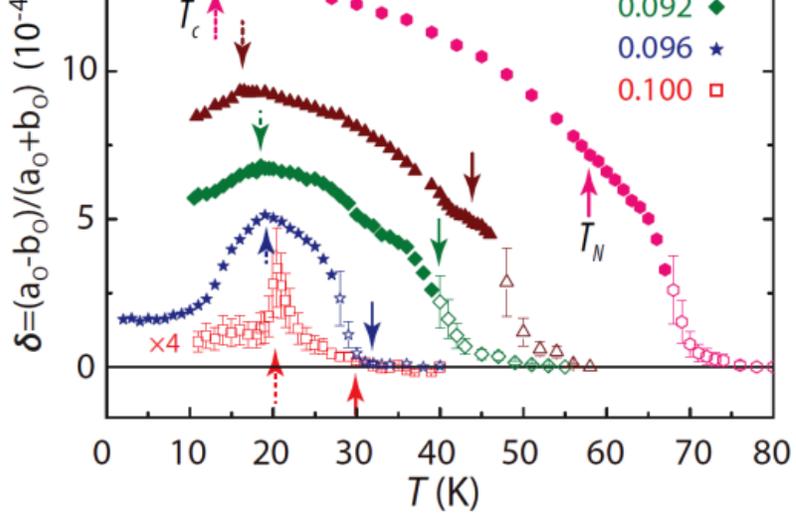


图4. BaFe_{2-x}Ni_xAs₂结构畸变序参量随温度的演变。

打印本页

关闭本页