
物理所发现向列量子临界点及向列量子涨落导致电子有效质量增大

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/2701.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

物理所发现向列量子临界点及向列量子涨落导致电子有效质量增大。常规超导的机制是两个电子通过交换声子(晶格振动的量子)形成电子对(库珀对)，这些电子对的凝聚导致超导态。原则上，其他类型的量子也可以起到类似声子的作用。例如，铜氧化物高温超导体中，有人认为两个电子通过交换顺磁振子(磁涨落的量子)可以实现非常规超导。

铁基高温超导体中除磁有序及磁涨落外，还存在另一种序：电子向列序。这是一种与液晶相似的性质，即电子向列态破缺晶体的旋转对称性。近来，电子向列序的涨落对物性(超导)的影响(作用)成为人们关心的一个重要科学问题。最近，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心郑国庆研究组(SC9组)的博士研究生王春光等人通过核磁共振测量发现，在 $\text{NaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ 的超导态下存在一个向列量子临界点(这里电子向列序消失)，由此造成的量子涨落导致电子有效质量的增大。这个发现表明，电子向列序的涨落是一种新的量子，它与声子或顺磁振子一样，对物性有深刻的影响，有助于提高超导的转变温度。

在多数铁基高温超导体中，反铁磁和电子向列序的转变温度非常接近，由它们外推得出的量子临界点不可区分。几年前，该研究组的周睿(现中科院特聘研究员)等人在靳常青研究组(EX5组)合成的 $\text{NaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ 样品上进行核磁共振实验，证实了该体系中存在反铁磁序和伴随结构相变的向列序(Phys. Rev. B 93, 060502(R) (2016).)，并发现这是一个非常独特的体系。首先，不同于其他铁基超导体体系，该体系的结构相变温度 T_s 与反铁磁相变温度 T_N 在整个相图中一直相差很大。其次，该体系只需要2.7%的Co替代量就可以实现最高超导临界温度 T_c ，极大地减小了无序和杂质对量子临界现象的影响。因此， $\text{NaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ 体系非常适合研究电子向列序的量子临界现象及它对超导的影响。但是，由于超导相的存在，探测 $T=0$ 的量子临界点成为一个非常困难的课题。

最近，两个研究组通力合作，用核磁共振方法研究零温London穿透深度 $L(0)$ 随掺杂 x 的变化。磁场在超导体中形成三角形或四角形的磁通格子，导致超导体内部磁场分布不均匀，空间不均匀的程度取决于London穿透深度，而核磁共振的谱展宽是探测不均匀磁场分布的有力手段。

基于这个原理，研究团队发现 $L(0)^2$ 在 $x_M=0.027$ 和 $x_c=0.032$ 处有两个非常尖锐的峰，如图1所示。通过测量自旋晶格弛豫率 $1/T_1$ ，他们发现由反铁磁自旋涨落导致的 $1/T_1$ 在低温下几乎不随温度变化(图2)，这表明零温下交错磁化率发散性地增长，从而确认 x_M 是反铁磁量子临界点。

x_c 是向列序消失的位置，核磁共振和喇曼光谱研究结果都表明，正常态存在很强的向列序涨落。研究团队还发现，电阻率在这个位置呈现线性温度关系，进一步证明了向列序量子涨落对物性的

影响。 $L(0)^2$ 是表征零温性质的物理量，与电子有效质量 m^* 成正比。因此， x_c 处穿透深度出现的峰说明在该处存在一个向列序的量子临界点，量子临界涨落导致 m^* 的急剧增强。

在反铁磁和向列序量子临界点不可区分的体系中， T_c 随掺杂存在一个很明显的峰，其中心位于 x_M 附近。而在 $\text{NaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ 体系中，即使远离 x_M ， T_c 也保持较高值且几乎不随掺杂变化，说明向列序的涨落可以增强超导配对。

这项研究首次提供了超导态下存在向列序量子临界点的确凿证据，为理解高温超导机理提供了新的线索。相关研究结果已经发表于《物理评论快报》(Phys. Rev. Lett. 121, 167004 (2018))。

该工作得到国家自然科学基金(课题号11634015)、科技部(课题号2017YFA0302904, 2016YFA0300502)以及中科院先导B专项(XDB07000000)的支持。

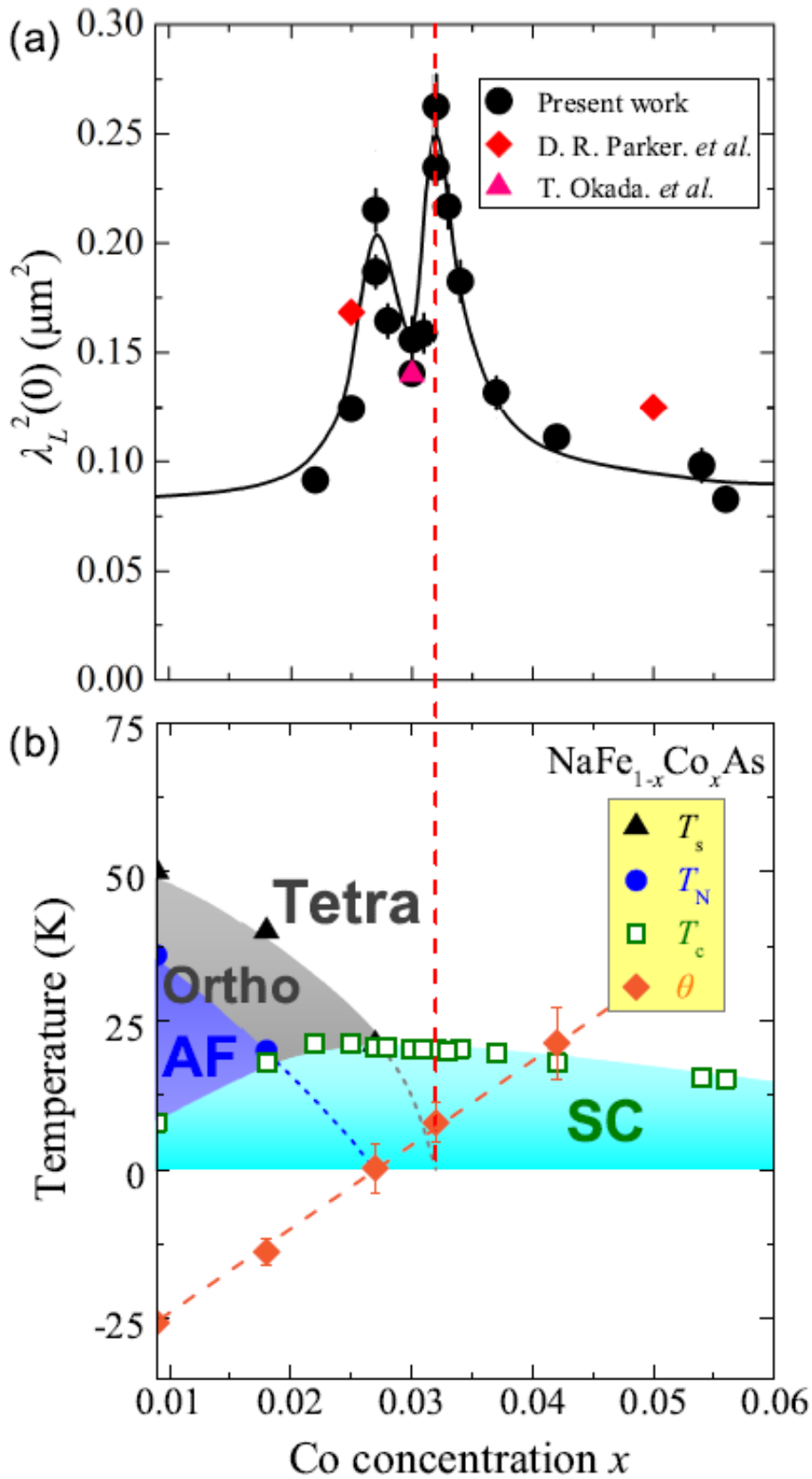


图1：(a) $(\lambda_L^2(0))$ 随掺杂的变化，两个尖锐的峰表明电子有效质量在该处增大。(b) $\text{NaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}$ 体系的相图。 T_s 为向列序转变温度， T_N 为反铁磁转变温度， T_c 是超导转变温度。物理量 θ 是从 $1/T_1$ 得到的参量，用来衡量偏离磁量子临界点 ($\theta = 0$) 的距离。

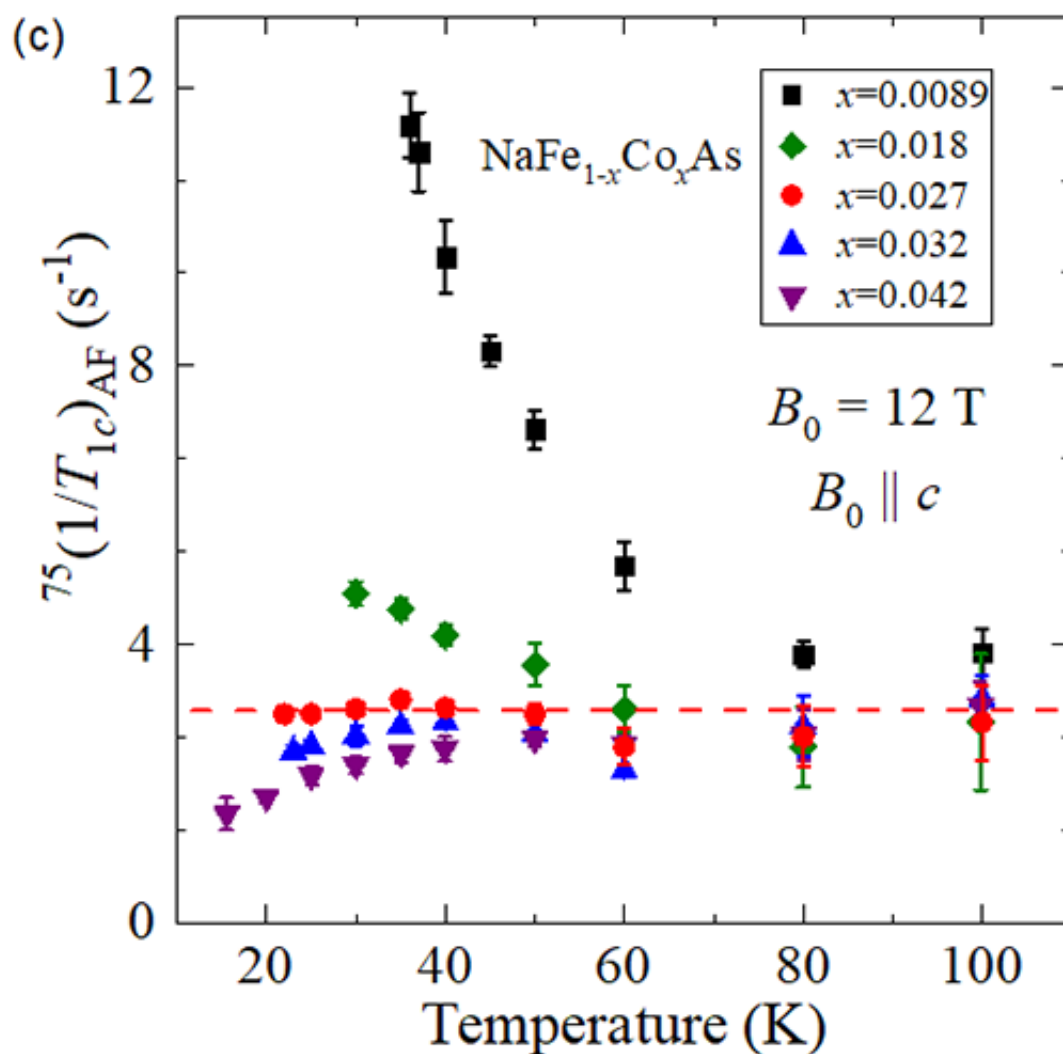


图2：不同掺杂量样品中来自反铁磁涨落贡献的 $1/T_{1c}$ 随温度的变化。 $x = 0.027$ 样品在低温不随温度变化，表明其是反铁磁量子临界点。

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发