

# 物理所在铁磁量子临界点及其附近的超导相研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/6416.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！

物理所在铁磁量子临界点及其附近的超导相研究中取得进展。铁磁和超导都是凝聚态物理的重要分支。早在上个世纪80年代，Appel和Fay两位理论工作者就认为，无论是在铁磁有序态里还是在顺磁态里，铁磁涨落都会导致p波自旋三重态超导的出现。这种超导态与常规的s波自旋单重态超导不同，包含更加丰富的物理。但是实验进展非常缓慢，这是因为这种新奇超导态的出现需要满足三个条件：处于铁磁有序态附近、高晶体质量和极低的温度。目前确认的与铁磁相关的超导体非常稀少。5f电子体系的UGe<sub>2</sub>在铁磁有序态里出现超导(超导转变温度T<sub>sc</sub>小于1K)，证实了理论的预言。但是，一旦铁磁有序态被抑制，超导并没有出现。因此，人们对顺磁态铁磁涨落背景下的超导依然缺乏认识。

不过，铁磁涨落能引起超流已经被证实。超流与超导类似，都是由费米子配对凝聚引起的。<sup>3</sup>He中存在两个超流相，即A相和B相。A相为p波ABM(Anderson-Brinkman-Morel)态，<sup>3</sup>He原子对存在S<sub>z</sub> = 1(↑↑)和S<sub>z</sub> = -1(↓↓)两个成分，能隙函数中存在点状节点。B相为p波BW(Balian-Werthamer)态，<sup>3</sup>He原子对存在S<sub>z</sub> = 1(↑↑)、S<sub>z</sub> = 0(1/√2)(↑↑ + ↓↓)S<sub>z</sub> = -1(↓↓)三个成分，能隙是各向同性的。众多事实证明，<sup>3</sup>He中的自旋三重态超流是由铁磁涨落引起的。近年来，人们对<sup>3</sup>He超流相有了更进一步的认识：它们是拓扑非平凡的，A相与拓扑外尔半金属类似，B相属于D 拓扑类。

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)的博士研究生罗军与物理所研究员任志安(SC10组)、石友国(EX10组)等人合作，利用核四极矩共振(NQR)测量发现，可对3d巡游电子体系的顺磁铬基化合物A<sub>2</sub>Cr<sub>3</sub>As<sub>3</sub>(A = 碱金属)进行调控。随着碱金属原子半径的增大，系统逐渐向铁磁量子临界点趋近。他们的研究首次给出了铁磁量子临界点(QCP)附近的超导相图。

研究团队测量了A<sub>2</sub>Cr<sub>3</sub>As<sub>3</sub>(A = Na, Na<sub>0.75</sub>K<sub>0.25</sub>, K, Rb)的自旋晶格弛豫率(1/T<sub>1</sub>)的温度依赖性，从而得到了正常态磁涨落强度和超导态能隙对称性的信息。他们发现从Na过渡到Rb，铁磁涨落逐渐增强，如图1所示。即，随着碱金属半径变大，系统逐渐靠近铁磁QCP。他们发现这可归因于Cr<sub>2</sub>-As<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>键角α逐渐向90°靠拢从而增强了铁磁相互作用。而当系统偏离QCP时，T<sub>sc</sub>逐渐上升，在Na<sub>2</sub>Cr<sub>3</sub>As<sub>3</sub>处达到了8K。这种行为与反铁磁QCP处T<sub>sc</sub>为极大值形成鲜明的对比。此外，他们还研究了超导态的性质，发现1/T<sub>1</sub>在T<sub>sc</sub>之下快速下降且没有相干峰，四个样品的1/T<sub>1</sub>在特征温度T\* ≈ 0.6T<sub>sc</sub>之下正比于T<sup>5</sup>，这说明A<sub>2</sub>Cr<sub>3</sub>As<sub>3</sub>家族的超导能隙中普遍存在点状节点。

这些实验结果表明A<sub>2</sub>Cr<sub>3</sub>As<sub>3</sub>可能是超流<sup>3</sup>He的固态翻版。因此，这项成果架起了一座连接强关联

、非常规超导以及拓扑物理三大研究领域的桥梁。

相关研究结果已经发表于《物理评论快报》(Phys. Rev. Lett. 123, 047001 (2019))。

该工作得到国家自然科学基金(11674377, 11634015, 11774399)、科技部(2016YFA0300502, 2017YFA0302901, 2017YFA0302904)以及中科院青促会的支持。

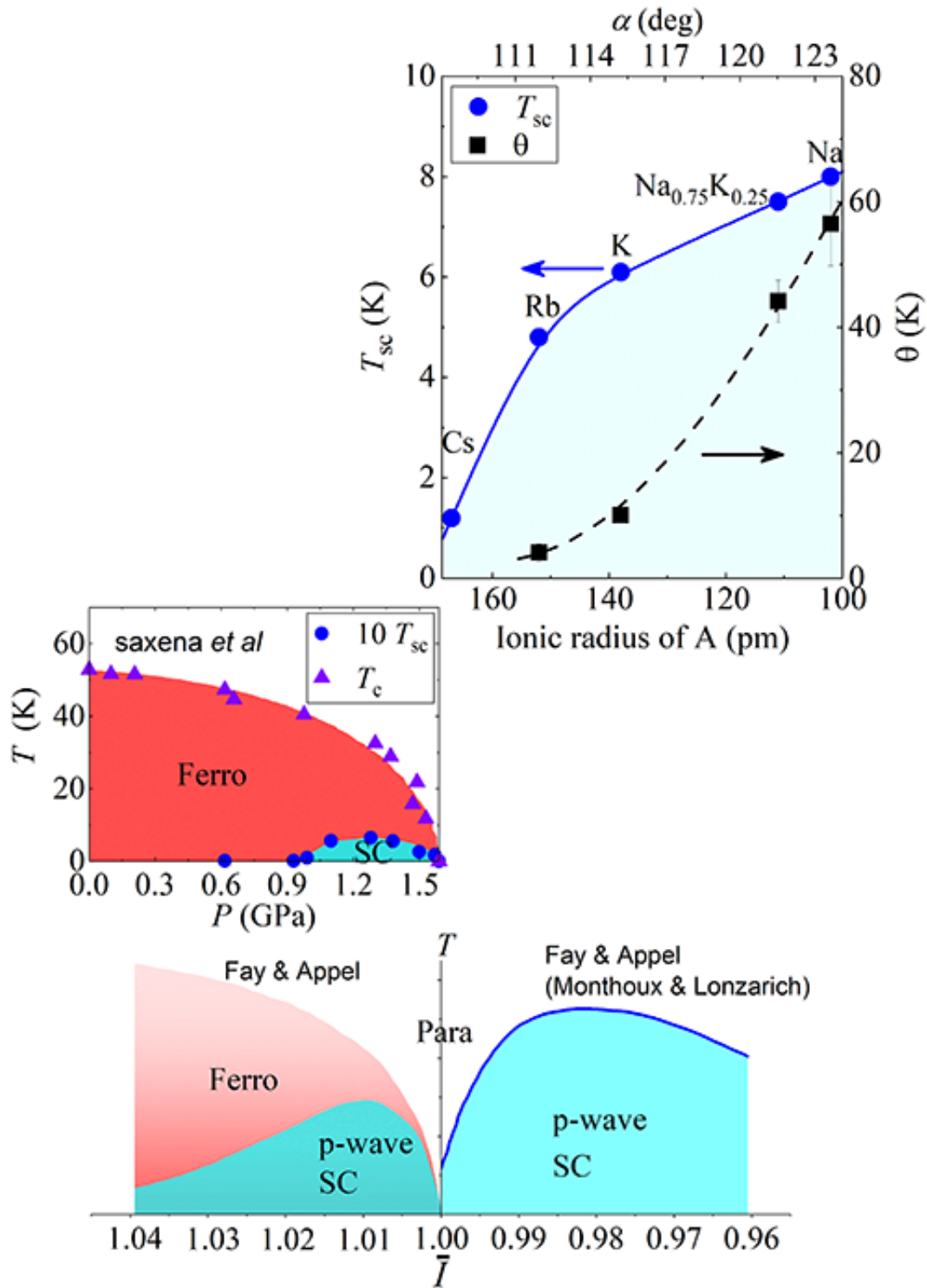


图1：A2Cr3As3体系的相图(上)、UGe2压力下的相图(中)以及铁磁QCP附近的理论相图(下)。T<sub>sc</sub>代表超导转变温度，θ为表征磁涨落强度的物理量，是从对1/T<sub>1</sub>T数据拟合(1/T<sub>1</sub>T = 1/(T + θ))得到的。θ越小，代表离铁磁QCP越近。从Na到Rb，系统逐渐向铁磁QCP靠近。

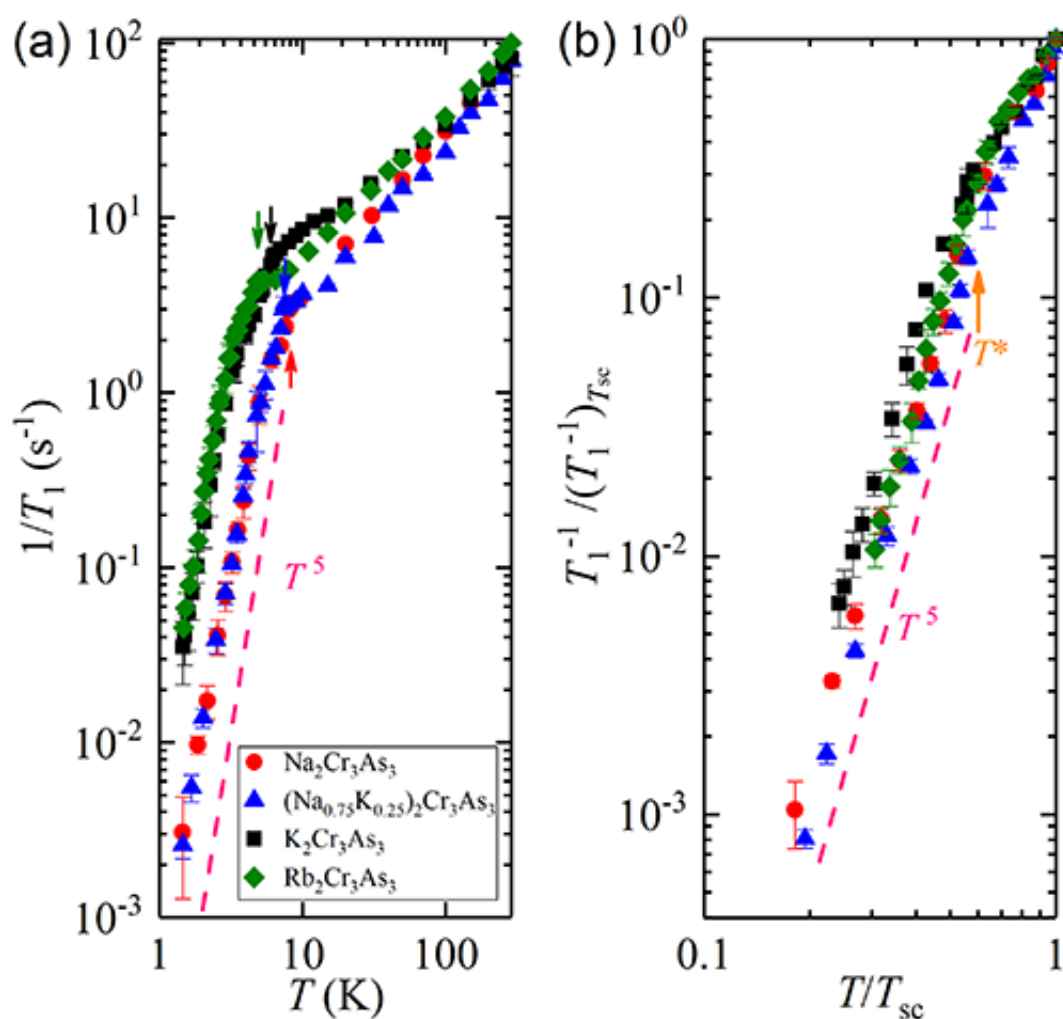


图2：(a)四个样品1/T<sub>1</sub>随温度变化。箭头代表T<sub>sc</sub>(b)用T<sub>sc</sub>处的数据归一化后的1/T<sub>1</sub>，箭头代表特征温度T\*，低于T\*时1/T<sub>1</sub>正比于T<sup>5</sup>，表明能隙中存在点状节点。

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](https://www.iikx.com)转发