科学家发现自旋超固态巨磁卡效应

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25727.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！

播放 暂停

进入全屏 退出全屏

00:00 00:00

- 3x
- 2x
- 1.5x
- 1x
- 0.75x
- 0.5x

1x

重播 请刷新试试

超固态是一种在接近绝对零度时涌现的新奇量子物态，兼具固体和超流体这两种看似矛盾的特征。超固态自20世纪70年代作为理论猜测提出以来，除了冷原子气的模拟实验外，科学家尚未在固体物质中找到超固态存在的可靠实验证据。
中国科学院大学教授苏刚、中国科学院
物理研究所研究员孙培杰、中国科学院理论物理研究员所李伟、北京航空航天大学副教授金文涛等组成的联合研究团队，在钴基三角晶格量子磁性材料中，通过理论和实验研究结合，首次发现阻挫量子磁体中超固态（自旋超固态）的存在。进一步，研究通过磁场调控材料经历自旋超固态量子相变，发现极低温巨磁卡效应，在绝热条件下获得94 mK的极低温，实现了亚开温区无液氦极低温制冷。这一新物态与新效应的发现是基础研究的重要突破，为我国在深空探测、量子科技、物质科学研究等领域的极低温制冷难题提供了新的解决方案。

固体物质能否同时具备超流性？这是1970年由A. Leggett提出的科学问题。Leggett最早提议在氦4固体中利用转动惯量的非经典行为来探测这种新奇的量子物质。2004年，美国科研团队报道观察到单质氦超固态，但随后被证实缺乏确定性的证据。1962年，杨振宁提出引入非对角长程序来刻画超流和超导等宏观量子态，以区别如原子有序排列的经典对角长程序。按照这一定义，超固态是对角与非对角长程序共存的物态。半个世纪以来，在凝聚态体系中科学家仍未找到超固态存在的确凿证据，而寻找这种奇特量子物态也早已成为超冷原子气模拟等学科的研究目标。

近年来，阻挫量子磁性的研究蓬勃发展，为寻找超固态提供了新平台。针对三角晶格易轴海森堡模型，多体计算指出其自旋面外分量破坏晶格平移对称，形成三子格“ 固态 ”序即对角长程序；而面内自旋分量破坏U(1)转动对称性，形成“ 超流 ”序（非对角长程序）。这正是量子磁性中超固态的对应——自旋超固态。然而，在何种实际体系中可以展现出这种自旋超固态，以及是否存在实验可测的新颖效应，是有待探索的重要问题。

$Na_2BaCo(PO_4)_2$
是新近合成的钴基三角晶格量子反铁磁体。较早的研究观察到材料中存在很强的低能自旋涨落，提出可能实现了量子自旋液体态。理论物理所与物理所的理论研究表明，易轴三角晶格海森堡模型可以很好地描述该钴基三角磁体，并预言在材料中存在自旋超固态。如何证实超固态的存在，是具有挑战性的问题。通过理论-实验的合作，联合团队首次在一个实际量子磁体中发现了自旋超固态；中子衍射实验揭示了三子格“固态”序的存在，支持非对角“超流”序的存在，并提供了$Na_2BaCo(PO_4)_2$中自旋超固态量子相变的微观证据。

进一步，研究发现自旋超固态在极低温下的巨大磁卡效应。在绝热条件下调控磁场，科研人员观察到自旋超固态量子相变点附近，材料的温度急剧下降，到达94
mK的
最低制冷温
度。绝热温变率展现出
很高的尖峰，峰值高度是目前通用的制冷工质G
$d_3Ga_5O_{12}$的四倍。此外，在自旋超固相中，$Na_2BaCo(PO_4)_2$
由于强烈的自旋涨落可以保持在很低的制冷温度，与其他自旋有序物质形成鲜明对比。这些特性使得具有巨磁卡效应的钴基磁性晶体成为亚开尔文温区具有应用前景的极低温制冷量子材料。

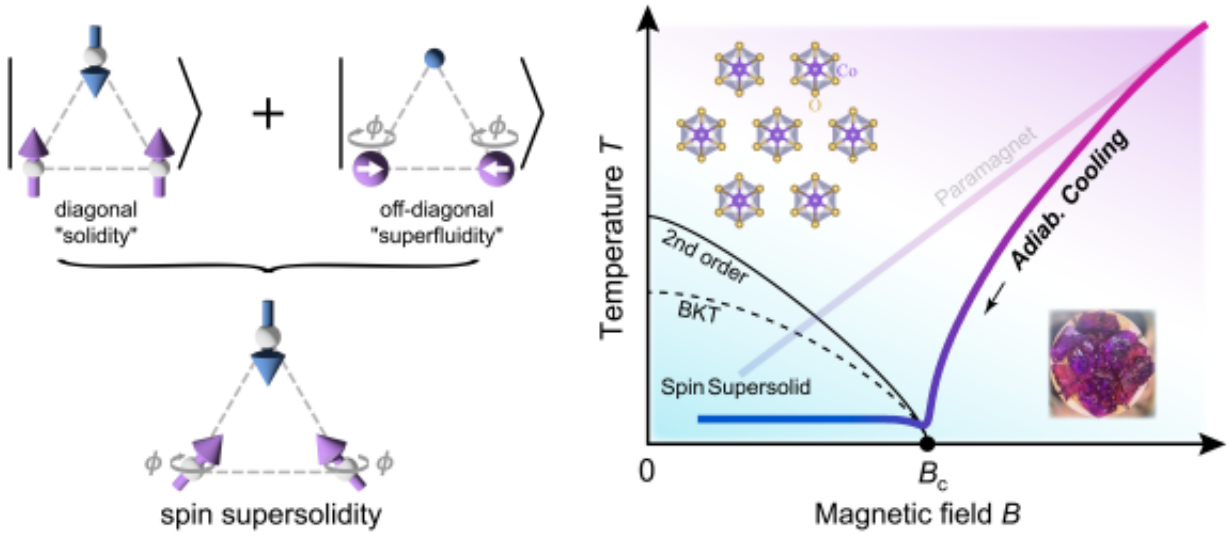
目前极低温制冷的主要技术包括氦制冷与磁制冷。前者依赖氦这种稀缺元素的量子涨落强、相互作用弱带来的特殊低温特性，而后者目前主要依赖水合顺磁盐工质的磁卡效应。磁卡效应是指磁性材料在磁场作用下产生显著温度变化的现象。利用顺磁盐中近乎自由的磁矩，科学家通过绝热去磁首次实现了显著低于1开的极低温。然而，水合顺磁盐中磁性离子分布稀疏，同时具有磁熵变密度小、稳定性差、热导低等固有缺
点。本工作发现的
自旋超固态致冷，基于多体效应，调控集体激发实现熵变，与基于顺磁性，调控自由磁矩实现熵变，在制冷原理与机制上存在本质区别，能够有效地克服后者的固有局限性。在全球氦气供应短缺的情况下，发展高性能新型制冷技术在空间应用和量子技术等亟需极低温环境的高科技领域具有重要意义。

1月11日，相关研究成果以*Giant magnetocaloric effect in spin supersolid candidate $Na_2BaCo(PO_4)_2$*为题，发表在《自然》（*Nature*）上。《自然》同时刊发了题为*Spin supersolid with giant magnetocaloric effect promises a new route to extreme
cooling*
的研究简报，并评价论文“之所以引人注目，在于其报道了单晶阻挫磁体中超固态的证据和可用于亚开温区制冷的源于基本物理发现的磁卡效应，并在一篇论文中报道了两项重要进展”。

研究工作得到国家自然科学基金优秀青年科学基金项目、中国科学院-
财政部基础研究领域稳定支持青年团队“基于新原理的无液氦极低温制冷”项目等的支持。

论文链接

研究简报



自旋超固态及其巨磁卡效应。
（左）自旋超固态是“ 固态 ”（对角长程序）与“ 超流 ”（非对角长程序）共存的新奇量子物态。（右）自旋超固态绝热制冷曲线，与传统的顺磁材料相比，展现出不同的特征，退磁过程具有更高的降温“ 速率 ”，插图显示钴基三角晶格结构图（左上）与晶体照片（右下）。

研究团队单位：中国科学院大学 物理研究所 理论物理研究所

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转发