



北航物理学院
SCHOOL OF PHYSICS, BUAA

[教师登录](#) | [学生登录](#) | [English](#)

请输入关键字搜索

提交

[首页](#) [学院概况](#) [师资力量](#) [人才培养](#) [教学研究](#) [科学研究](#) [交流合作](#) [党群工作](#) [党风廉政](#) [综合服务](#)

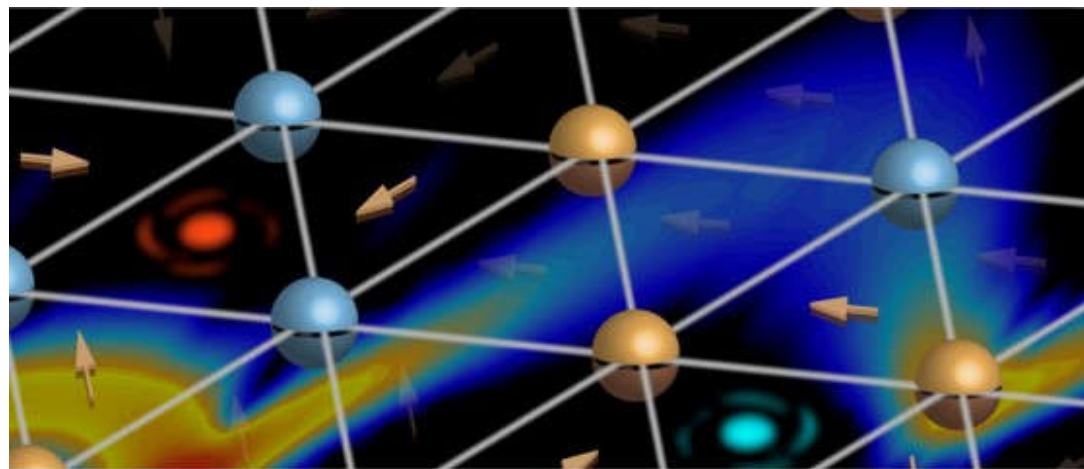


[首页](#) > [综合新闻](#)

微纳物理与应用研究室在二维量子磁体研究中取得进展

作者： 时间： 2020-02-29 点击数： 947

近日，我院微纳物理与应用研究室理论团队李伟副教授、博士生李涵等与复旦大学、中科院物理所和香港大学的合作者在三角反铁磁体量子理论研究中取得进展。该工作通过大尺寸的量子多体热力学与动力学模拟，确定二维磁体 TmMgGaO_4 (TMGO)的微观模型和精确参数，计算表明在中间温度展现出奇特的二维Kosterlitz-Thouless (KT)相。此前人们在二维超流和超导中观察到KT相变，而此项理论工作第一次在实际二维磁性晶体材料中预言了KT物理的存在。这一研究通过分析自旋谱发现了三角晶格反铁磁晶体中的类旋子激发，解释为竞争条纹反铁磁序导致的“幽灵软模”，并结合赝自旋映射阐明了其拓扑起源。相关工作于2020年2月28日以“Kosterlitz-Thouless Melting of Magnetic Order in the Triangular Quantum Ising Material TmMgGaO_4 ”为题在线发表于《自然·通讯》(Nature Communications)，北航物理学院为第一作者和通讯作者单位。



示意图二维量子磁性材料TMGO的三角晶体结构、自旋织构与涡旋对激发（背景为磁振子-旋子色散）

阻挫反铁磁体的精确多体计算

阻挫反铁磁体是一类非常有趣的量子材料，丰富的多体效应使得其中涌现出新奇的量子物态与相变，不断吸引着人们探寻其中的凝聚态物理新范式。在阻挫反铁磁中，由于存在强关联效应和各种磁有序的激烈相互竞争，开展精确理论计算并与实验对比仍然是十分困难的学术前沿问题。研究团队利用自主开发的指数张量重正化群，结合量子蒙特卡罗动力学方法，揭示出反铁磁材料TMGO十分理想地被量子伊辛模型描述，并精确确定了其关键“基因信息”——微观模型参数，完美地拟合了实验观测的磁比热、熵曲线、磁化率、磁化曲线等诸多磁热力学性质，同时，采用这套参数进行的量子蒙特卡罗动力学计算与自旋谱的直接比较也得到完全吻合的结果。因此，通过全方位、精确的关联量子材料模拟，确认TMGO晶体是一个研究涌现多体物理的理想量子材料。

旋子激发与“幽灵软模”

在TMGO晶体中存在一种特殊的反铁磁序，“钟有序”（clock order），被量子涨落所挑选出来成为基态，而另一个三角晶格反铁磁的有力竞争者“条纹序”（stripe order）在低温不被相互作用所选择。然而，条纹序虽然不能实现在零温稳定的“存活”，但可以在自旋谱的中间能量段留下对应的“幽灵”。这种位于M点附近的平方型色散激发与超流旋子激发类似，称为自旋系统的旋子。整体上看，M点实际上为一个鞍点，因此对应很大的态密度，在比较低的温度下（ ~ 1 K）就可以被大量激发。TMGO晶体因此发生KT相变，“融化”反铁磁序，并进入一种类似二维超流态的奇特磁性液体状态，即著名的KT相。

超流体中的旋子激发是一个非常有趣的问题，自朗道的唯象理论提出后，吸引了费曼、昂萨格等诸多著名物理学家来建立旋子的微观量子理论。昂萨格指出，旋子代表超流体中涡管的“幽灵”（The Ghost of a Vanished Vortex Ring）；费曼认为，旋子对应着量子化的涡旋运动，旋子激发极小点对应着液态结构因子的极大点；较近的观点认为，超流体旋子激发是近邻固体序竞争导致的软模，并在冷原子实验中被多次观察到。

在TMGO晶体材料研究中，M旋子和无能隙长波磁振子激发一道构成了类似于超流体的声子-旋子谱（著名的朗道能谱）。通过细致分析，发现M旋子的确可以看成条纹反铁磁序的“幽灵”，随温度升高激发能隙逐渐降低、软化，而所对应的条纹反铁磁短程关联会被增强。特别地，M旋子在上KT相变附近急剧软化，但不会在通常意义下对应某种具体的对称性恢复，所以从这个意义上也是一种奇特的“幽灵软模”。

赝自旋映射、涡旋对与KT物理

事实上，在TMGO晶体KT相中的这些幽灵软模确实和旋转有关。通过赝自旋映射，研究发现鞍点附近的幽灵模式对应着涡旋-反涡旋对激发。在KT相中，系统演生出连续U(1)对称性，对应一个复序参量（赝自旋），并存在相位的（准）长程相干性（“超流序”）。在条纹反铁磁自旋织构的基础上，自

旋的翻转激发会在赝自旋图像上激发一对涡旋（见示意图）。当温度超过KT相变温度时，系统中的涡旋-反涡旋被拆散，发生十分有趣的拓扑相变，提供给系统破坏超流序的独特涡旋缺陷。随着涡旋等激发的数目激增，系统从“液态超流”最终进入人们所熟悉的高温“气态”顺磁。

多体量子物质研究范式

李伟副教授自2015年在物理学院工作以来，专注于发展张量网络态方法，独辟蹊径地解决一些困难的量子多体物理问题。特别是，近几年连续提出新颖的热态张量重正化群算法，取得高水平的原创性成果并发表在Phys. Rev. X, Phys. Rev. Lett.等国际权威学术期刊上。在本工作中，博士生李涵（第一作者）采用课题组提出的指数张量重正化群方法（PRX 2018）开展大规模计算，与实验对比寻找到了精确的模型参数，成功“破译”了磁性晶体TMGO的“材料基因”。

这个工作也是与同行通力合作，构建量子多体物质研究新范式的结晶。论文的另一个第一作者是物理研究所博士生廖元达，他采用量子蒙特卡洛方法开展了大尺寸动力学计算。复旦大学戚扬教授、香港大学孟子杨副教授与李伟副教授分别围绕有效场论、自旋谱学和热力学性质对问题开展研究，并列为论文的通讯作者。我院博士生陈斌斌（导师陈子瑜教授）辅助进行了部分张量和蒙卡计算，硕士生曾旭涛和导师胜献雷助理教授对TMGO材料开展了密度泛函计算与分析，为论文共同作者。

作为一个典型范例，这个工作对TMGO的研究使得这套多尺度、立体化的多体量子物质研究范式前途可期。期待这套平衡态性质+多体动力学的方法，在材料层次结合能带计算，在理论层次构建有效场论，从而在探索更多新奇关联晶体材料中继续发挥更加重要的作用！

本工作获得国家自然科学基金委和北航卓越百人计划、北航青年拔尖人才支持计划等资助。

论文的在线链接：<https://www.nature.com/articles/s41467-020-14907-8>

微纳物理与应用研究室主页：<http://datastorage.buaa.edu.cn>

微纳物理与应用研究室—关联量子物质与材料主页：<https://wlibuaa.github.io/>

上一篇: 物理学院王钰言助理教授在《Nature Communications》发表有关自旋泵浦效应的研究成果

下一篇: 我校学生在第36届全国部分地区大学生物理竞赛中取得优异成绩

北京航空航天大学物理科学与核能工程学院 Copyright 2014 地址: 北京市海淀区学院路37号 邮编100191

电话: 010-82317935 传真: 010-82317935 网站维护: bestlxc@gmail.com 地址: 北京市朝阳区小营育慧里4号3005室 邮编: 100101 京ICP050