



# 降温至 94 毫开!“新式”制冷迎来“曙光”

■本报记者 韩扬眉

极低温制冷广泛应用于大科学装置、深空探测、材料科学、量子计算等国家和战略高技术领域。然而,过去极低温制冷始终离不开稀缺的氦元素,特别是全球供应面临短缺的氦-3。

有什么方法可以不用氦元素就能实现极低温制冷?这需要在科学原理上进行改变。

1月11日,《自然》在线刊发中国科学院大学教授苏刚、中国科学院理论物理研究所研究员李伟、中国科学院物理研究所研究员孙培杰、北京航空航天大学副教授金文涛等团队的最新研究成果。通过理论与实验紧密结合,他们在钴基三角晶格磁性晶体中首次发现了量子自旋超固态存在的实验证据,将材料通过绝热去磁可降温至 94 毫开,与基于材料微扰模型的多体计算结果完美吻合。他们还在超固态相变点附近发现巨大的磁制冷效应,并将其命名为“自旋超固态巨磁卡效应”。

《自然》审稿人称,“理论与实验的吻合,极好地支持了工作的核心结论”。“漂亮的工作展示了自旋超固态的磁效应可以有多大,这会引发广泛的兴趣。该研究有望为破解我国尖端领域中极低温制冷氦资源短缺的“卡脖子”难题提供新方案。”

## 突破传统,探索制冷新机制

一个世纪之前,荷兰莱顿大学教授、诺贝尔奖得主海克·卡末林·昂内斯第一次将氢气液化,人类从此进入低温物理世界。低温让科学家发现了超导、超流等新奇量子效应和现象。如今,低温的应用日益广泛。虽然绝对零度不可实现,但科学家对低温的追求从未停止。

然而,低温技术中不可缺少的氦元素,全球供应短缺。科学家发现,绝热去磁制冷无须氦资源,这使得该冷却技术在各种应用中变得越来越重要。

“绝热去磁是利用磁卡效应实现极低温制冷的物理过程,而磁卡效应是指磁性材料随外加磁场变化而产生显著温度变化的现象。利用特殊的磁性物质——顺磁盐的磁卡效应,美国科学家、诺贝尔奖得主吉奥克通过绝热去磁首次实现了显著低于 1 开尔文的制冷。”苏刚告诉《中国科学报》。

阻挫量子磁性材料有望成为新一代极低温制冷工作介质,有潜力被用于多场调控的无液氮制冷。 $\text{Na}_2\text{BaCo}(\text{PO}_4)_2$  就是一种三角晶格

阻挫量子磁性材料,此前研究表明该材料是量子自旋液体的候选材料,但通过精确的多体计算和深入分析,科学家发现该材料的基态可能是一种新奇的磁有序状态——自旋超固态。

超固态是一种在接近绝对零度时涌现出的新奇量子物态,在保持固体的长程有序性质的同时,还具有超流性质。诺贝尔物理学奖得主安东尼·莱格特等人在上世纪 70 年代就提出了“固体是否可以同时超流”的著名科学问题。

苏刚说,三角晶格材料的高度阻挫性质蕴含着丰富的量子磁性物态。有人从理论上预言了易轴三角晶格海森堡模型存在超固态的磁性对应——自旋超固态,但在何种材料中可以展现这种状态,以及是否存在与自旋超固态相关的新颖效应,是有待探索的重要问题。

于是,2021 年,苏刚、李伟等向中国物理研究所的项俊森和孙培杰提出了研究钴基阻挫三角晶格材料  $\text{Na}_2\text{BaCo}(\text{PO}_4)_2$  的低温物性的建议。

## 吹尽狂沙始到金

开展高度阻挫磁性材料的低温性质计算,需要发展先进的张量网络态方法。过去 10 多年,李伟和苏刚等人发展出一系列精确、高效的量子多体有限温度张量网络计算方法,使得理论和实验的精确对比成为可能。

从实验角度看,这项工作具有很大挑战性。由于材料中自旋相互作用很小,约为 1 开尔文,因此需要在极低温下对量子自旋物态实验进行仔细观测。

项俊森等人破解极低温下的漏热控制与温度测量等诸多技术难题,反复测试、技术迭代,研发出新型低温测量器件,最终成功观察到自旋超固态的磁卡效应。

同时,金文涛课题组提供了高质量单晶并开展了低温中子衍射实验。由于材料中的钴离子磁矩较小,而且需要在 100 毫开以下低温条件下进行测量,实验非常困难。经过多次尝试,他们最终获得了自旋超固态量子相变的微观证据。

联合研究团队将所得结果与量子多体计算进行比较,首次在一个实际量子磁体中发现了自旋超固态存在的有力证据。他们同时发现,由于强自旋涨落效应,在自旋超固态转变点附近可以观察到温度急剧下降,实现 94 毫开(零下 273.056 摄氏度)的极低温。

苏刚表示,该温度处在开展一些重要深空探

测任务、天文观测、材料科学研究等所需的温区,并可以作为获得更低温度非常理想的前级制冷,如获得 20 毫开以下量子计算制冷温区。

研究人员表示,在自旋超固态量子相变点附近,磁场驱动的温度急剧下降,相关磁卡效应参数展现出很高的尖峰,其峰值高度是目前通用的顺磁盐制冷工质  $\text{Gd}_2\text{Ga}_2\text{O}_7$  的 4 倍,称为自旋超固态巨磁卡效应。

此外, $\text{Na}_2\text{BaCo}(\text{PO}_4)_2$  材料因其自旋超固态的涨落性质能够在一定磁矩范围内保持很低的制冷温度,与常规自旋有序物态形成鲜明对比。这些特性使得钴基三角晶格系统成为亚开尔文温区具有重要应用前景的极低温量子材料。

## 期待更快走向应用

“这项研究是科研团队合作精神与建制化科研范式的体现,来自多个研究单位的理论和实验团队通力合作、协同攻关,通过基础研究源头创新驱动极低温制冷的颠覆性技术发展。”苏刚说。

在研究团队看来,该成果还有诸多问题需要进一步研究,比如拓展材料家族中其他新成员、寻找具有更大磁卡效应的材料、设计新型器件以便更好发挥新原理制冷的优势等。

“该研究结果给我们打开了一扇窗。”李伟说,他们的目标是建成基于自旋阻挫材料磁卡效应的无液氮制冷机。

极低温制冷机是多种重要应用的关键核心设备之一,如能够为超导量子计算机提供接近绝对零度的极低温运行环境,在凝聚态物理、材料科学、深空探测等前沿技术领域也广泛应用,是我国科研领域亟待攻克的关键核心技术之一。

然而,极低温制冷机国际供应商以欧美国家为主导,形成长期技术封锁局面。基于新原理的无液氮极低温制冷机还需要多久才能面世?

李伟表示,后续工作面临的困难是新材料器件及制冷机的研发等。如何将实验室的成果转化成实际的器件和制冷机,为深空探测或量子计算提供极低温环境和足够的冷量,在科学和工程技术方面都面临一定的挑战。

“将科学发现变成一个产品并不容易,中间任何一个环节出现问题都很难走得通。但结合中国科学院内相关研究所的顶尖研究力量,我们相信这条路是能走通的,也希望通过基础研究的不断突破推动工程技术的提升。”

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06885-w>

# 我国“八纵八横”高速铁路网主通道已建成约 80%

据新华社电 记者 1 月 10 日从国家铁路局了解到,近年来,随着铁路建设不断推进,我国铁路网越织越密,“八纵八横”高速铁路网主通道已建成约 80%,普通铁路网不断完善。

在 1 月 10 日召开的全国铁路监督管理工作会议上,国家铁路局总工程师田军告诉记者,当前,铁路路网建设正由以路网干线建设为主向路网补网强链转变。“在加强出疆入藏、沿江沿海等干线铁路建设的同时,多层次轨道交通互联互通需求日益凸显,城际铁路、市域(郊)铁路、铁路专用线等区域性铁路和现代化物流枢纽建设方兴未艾,正逐步成为铁路建设的主战场。”

据统计,截至 2023 年底,全国铁路营业里程达到 15.9 万公里,其中高铁达到 4.5 万公里。

在技术创新方面,田军表示,铁路技术创新正由总体技术领先向全面自主领先转变。经过引进消化吸收再创新,我国铁路总体技术水平已经达到世界领先,加快基础研究和前沿引领技术突破,实现全面自主可控成为当前着力推进的重点。

与此同时,铁路运输服务正由“走得了”“运得出”向“走得好”“运得畅”转变。我国铁路客运周转量、货物发送量、货运周转量以及运输密度均居世界首位;复兴号实现对 31 个省份全覆盖;客运服务市场化、便利化、信息化加速推进,建成世界规模最大的铁路互联网售票系统;货运产品供给不断优化,重载运输、快运货物班列、集装箱、冷链运输、高铁快运全面发展,实现运输服务品质全面提升。(樊曦)

# 木星磁层存在磁鞘射流

本报讯(记者刁雯蕙 冯丽妃) 1 月 9 日,哈尔滨工业大学(深圳)校区理学院教授沈超团队与合作者在太阳系行星磁鞘射流领域取得重要研究成果。他们发现木星磁层存在磁鞘射流,这意味着木星成为像地球、火星一样拥有此类射流的行星之一。相关成果发表于《自然-通讯》。

磁鞘是行星磁层与太阳风相互作用产生的外边界层,磁鞘射流是其中动能远大于周边等离子体动能的等离子体。地球磁鞘射流能够驱动磁层顶部边界层的磁场重联过程,促进太阳风物质和能量向磁层内部输送,影响地磁暴的发生和演化,对航天器运行以及空间通信会产生空间天气效应。

近年来,学术界在火星磁鞘发现了射流存在的证据,在水星磁鞘中也发现了射流存在的一些证据。然而,在其他行星磁鞘中是否存在射流仍是具有争议的问题。

沈超团队利用新近提出的空间多点探测方法——法向量场分析,对 Cluster 探测器数据进行分析,发现了一种新的磁鞘射流产生机制,即磁鞘射流能够产生于弓激波与太阳风间断面的相互作用。这种新机制不受激波准平行与准垂直的限制,能在所有行星弓激波上导致磁鞘射流的产生,意味着该射流在太阳系行星磁鞘中是普遍存在的。

为进一步验证新的机制及其推论,沈超团队与美国约翰斯·霍普金斯大学、北京大学的学者合作,对 1979 年“旅行者 2 号”在木星磁鞘的观测数据进行分析,发现了 3 个射流。其中



木星。图片来源:NASA

中一个射流向太阳方向运动,另外两个射流向木星方向运动,后两个射流符合新机制的预期。团队将这些新发现的射流与过去在地球和火星发现的射流对比,发现其空间尺度随弓激波空间尺度变化。

与此同时,团队还分析了卡西尼计划数据,初步发现了土星磁鞘射流证据。他们将可能的土星射流与水星射流纳入对比,发现所有射流都符合随弓激波尺度变化的规律,进一步证实了行星磁鞘射流在太阳系中的普遍性。

该研究增进了人类对磁鞘射流对于行星磁场的潜在影响、太阳系空间等离子体波特性、等离子体能量传输和转化过程等领域的认知,对空间天气事件预报具有重要应用价值。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-43942-4>

# 研究为缓解肥胖提供新策略

本报讯(记者朱汉斌) 1 月 8 日,美国《国家科学院院刊》发表了南方医科大学南方医院内分泌代谢科主任张惠杰团队的原发性研究。该成果为缓解肥胖高热状态、改善代谢状态提供了新的思路和策略。

肥胖发生的本质是能量摄入与消耗的失衡。棕色脂肪组织因其含有大量线粒体而具有产热作用,是适应性产热的主要场所,在哺乳动物的全身能量平衡和燃料代谢中发挥着关键作用。

白介素 6(IL-6) 细胞因子家族是一组在各种生理过程中发挥关键作用的蛋白质。此前有研究表明,该家族的一些成员参与了减轻体重和能量消耗的过程,但目前的研究提示这些成员主要是通过抑制摄食而发挥减轻体重或改善代谢的作用。IL-6 细胞因子家族是否可以直接靶向棕色脂肪组织,从而调节产热和能量代谢,目前尚不清楚。

为了鉴定棕色脂肪组织中能够调控产热的 IL-6 家族成员,研究人员首先对急性冷刺激的 C57BL/6 小鼠棕色脂肪组织进行了转录组学分析,发现 IL-6 家族成员心肌营养样细胞因子 1(CLCF1) 表达显著下调。CLCF1 基因突变还会导致体温失调诱发出汗综合征。然而,CLCF1 在能量稳态中的作用仍不清楚。

研究发现,产热激活时 CLCF1 表达显著下调,而肥胖则可诱导棕色脂肪组织中 CLCF1

表达上调。为了深入探究 CLCF1 对棕色脂肪组织产热的调控作用与机制,研究人员首先利用 CLCF1 过表达腺病毒对小鼠棕色脂肪组织进行原位注射,结果发现 CLCF1 的过表达极大损害了棕色脂肪组织的产热能力,并降低了小鼠的代谢率。

接下来,研究人员进一步构建了棕色脂肪细胞特异性敲除 CLCF1 的小鼠(Clcf1<sup>flBTKO</sup>),发现在热中性和寒冷条件下,该小鼠相比于对照小鼠具有更高的体温和代谢率,棕色脂肪组织具有更多的多房脂肪细胞和线粒体含量。此外,通过高脂饮食诱导肥胖发现,棕色脂肪组织中 CLCF1 的敲除显著增加了小鼠的能量消耗,并改善了受摄食的葡萄糖和脂质代谢稳态。

研究人员通过对 Clcf1<sup>flBTKO</sup> 棕色脂肪组织进行转录组学分析发现,腺苷酸环化酶 3(ADCY3) 是 CLCF1 下游靶基因。他们又进一步联合急性冷刺激棕色脂肪组织转录组学分析发现,CLCF1 敲除显著激活棕色脂肪组织中 PERK-ATF4 信号通路。

通过实验证实,CLCF1 通过抑制 PERK-ATF4 信号轴,抑制 ADCY3 的转录活性,进而抑制 PKA 底物磷酸化,从而起到损害棕色脂肪组织产热的作用。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2310711121>

1 月 9 日,全球最大的消费电子盛会——国际消费类电子产品展览会(CES 2024)在美国拉斯维加斯拉开帷幕。

据展会主办方美国消费技术协会介绍,将有来自 150 多个国家和地区的 4000 多家企业参加为期 4 天的展会。其中,除佳能、高通、联想、TCL、海信、沃尔玛、京东等大型企业外,还包括 1200 多家初创企业,初创企业数量创历届展会之最。参展企业将展示人工智能、电动车、数字医疗、可持续发展等领域的创新技术和产品。

图为观众在 LG 展台前观看 LG Signature OLED T 4K 透明无线电视。

图片来源:视觉中国



# 欧盟气候监测机构:2023 年是有记录以来最热年份



本报讯 据《科学》消息,1 月 9 日,欧盟气候监测机构哥白尼气候变化服务局发布新闻公报称,2023 年成为自 1850 年有记录以来最热的年份,并且多项关键气候指标破纪录。

公报称,2023 年全球平均地表气温为 14.98°C,比 1850—1900 年工业化前的平均气温高出近 1.5°C,这一温度正是各国在 2015 年《巴黎协定》中提出的全球温控目标之一。公报还指出,2023 年 6 月至 12 月的每个月都比往年相应月份气温更高。其中,7 月和 8 月是有记录以来最热的两个月。

哥白尼气候变化服务局主任 Carlo Buontempo 在一份声明中表示:“过去几个月

观察到的极端情况戏剧性地证明,我们迫切需要去碳化。”

根据哥白尼气候变化服务局监测的数据,在 2023 年的多数月份中,南极海冰的面积降至历史同期的最低水平;2023 年大气中二氧化碳和甲烷浓度达到创纪录水平,分别达到 419ppm(1ppm 为百万分之一)和 1902ppb(1ppb 为十亿分之一)。

英国气象局的 Richard Betts 表示,2023 年的天气比预期的还要炎热,一定程度上是因为 2023 年的厄尔尼诺现象比往年开始得更早,尽管大部分变暖仍是由人类排放二氧化碳造成的。英国气象局每年都会对未来一年的天气进行预测,2023 年的温度第一次大幅高于其预测的温度。

高温使极端天气更有可能发生。2023 年,全球范围内记录了大量极端气候事件,包括热浪、洪水、干旱和野火。世界天气归因组织在一

份报告中表示,如果没有气候变化,北美和欧洲 2023 年 7 月的热浪几乎不可能发生。

Betts 指出,2024 年也将很热,甚至可能打破 2023 年的纪录。(辛雨)



2023 年 7 月 18 日,美国亚利桑那州凤凰城一块显示温度的广告牌。图片来源:AFP via Getty Images

# 柔性微型植入式共生电刺激系统可促进骨修复

本报讯(见习记者江庆龄) 同济大学附属第十人民医院教授郑龙坡团队与中国科学院、复旦大学等团队合作,成功研发出微型植入式共生电子器件。该器件利用人体自身康复运动供能,无须电池供电和电路调制,能够提供稳定可控电刺激的共生体系,从而促进骨修复。相关研究成果近日在线发表于《科学进展》。

研究团队将一种复合压电/摩擦电纳米发电机与导电水凝胶加以组合,构建出可植入体内的共生电刺激系统(BD-ES)。水凝胶具有优异的可注射性和黏附性,适用于不同形状的骨缺损。植入在关节附近的纳米发电机还可通

过患者主/被动功能锻炼,采集运动过程中产生的能量,并产生双相电脉冲信号以响应康复运动,用于促进体内骨再生和干细胞成骨分化,在骨修复方面显示出较好的潜力。

研究团队发现,BD-ES 与成骨密切相关的 WNT 和 MAPK 通路高度相关,上调了 PIK3CA、WNT11 和 ERK1 等多个关键蛋白的表达。PIK3CA、WNT11 和 ERK1 蛋白在细胞对机械敏感刺激反应的生物过程中高度表达,表明这些通路与机械敏感刺激反应可能存在协同作用。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1126/sciadv.adf6799>