



磁性材料中的斯格明子与反斯格明子

# 这个神秘准粒子 能让硬盘“迷你”起来

实习记者 于紫月

你能想象常用的笔记本电脑硬盘可以缩成米粒大小吗?一种磁性领域的神秘准粒子结构——斯格明子(skyrmion)可以让这个看似不可思议的想法成为现实,而且这颗“米粒”存储空间更大、数据传输速率更快。近日,中国科学院强磁场科学中心研究员陆轻铗及其合作团队采用自主研制的强磁场磁力显微镜,在约3纳米厚的钌酸锶(SrRuO<sub>3</sub>)氧化物薄膜中直接观测到了斯格明子。该成果发表在《自然·材料》期刊上,为进一步探索该磁结构的存在规律和人为操控提供了参考。

## 一种纳米尺度的新型磁结构

“之所以将斯格明子称为‘准粒子’,是因为斯格明子是由一小群磁矩(原子尺度的小磁针)以相邻磁矩间具有特定小夹角(不是传统的平行或反平行)的方式组成的磁矩集体。在外电场等驱动作用下,它是一个能够像真实粒子一样运动的行动集体。”陆轻铗在接受科技日报记者采访时表示。

“在这个集体中,相邻磁矩的夹角分布开去,最终形成对这个磁矩集体的一种保护,使其能够稳定存在,协同移动。”陆轻铗指出,斯格明子是一种纳米尺度上的新型磁结构。

早在1962年,英国物理学家托尼·斯格明就通过理论推演和计算预言了这种准粒子的存在,但直到20年后,即1982年,这一粒子才被科学界关注并命名为斯格明子。2009年,德国慕尼黑工业大学的物理学家缪尔等在一次偶然的情况下,采用小角度中子散射方法首次在硅化锰单晶体中观测到了斯格明子;很快,日本东京大学研究人员采用洛伦兹透射电子显微镜在铁钴硅氧化物薄膜中“看”到了斯格明子,从此学界开启了对斯

格明子的研究热潮。

经过近十年如火如荼的研究和发展,人们在磁性材料、磁性薄膜等多种材料中均发现了斯格明子的存在。更加有趣的是,上述材料属于不同体系,具有不同的物理特性,其产生的斯格明子也在尺寸、稳定性、动力学性质等方面不尽相同。据文献资料,磁性材料中的斯格明子尺寸在10—100纳米。磁性材料往往需要通过人为施加外部磁场才能获得稳定的斯格明子,极大地限制了其在实际应用中的价值。磁性薄膜中的斯格明子尺寸在100—1000纳米,可在室温下稳定存在,从这个角度来讲,其稳定性优于磁性材料中的斯格明子,但同样也有尺寸和制备工艺上的限制。

还有很多其他材料体系中也证实了斯格明子的存在,如氧化物薄膜。由于氧化物本身不易被腐蚀或者发生其他化学反应,具有较好的稳定性,且可通过调控制备工艺参数人为精确地控制薄膜的面积、厚度、内应力等,因此,在氧化物薄膜中观测到斯格明子,意味着该领域的研究从基础理论向实际应用又推进了一步。”陆轻铗表示。

## 下一代存储的“天命之选”

斯格明子究竟有何“魅力”,能够让全球众多科学家为之着迷并付出诸多努力?“现阶段,斯格明子展示了在信息技术领域中的巨大潜力,被认为是下一代信息存储设备的优越材料。”陆轻铗告诉记者。

随着信息化时代的发展,人们在享受海量信息和便捷服务的同时,也为信息存储带来了越来越大的挑战。“最初的磁存储设备基于磁畴。所谓磁畴,即磁性材料内部的微小区域,每个区域内包含若干原子,这些原子的磁矩方向一致,像一个个小磁铁一样整齐排列。不同磁矩方向的磁畴可分别对应二进制中的0和1,从而实现计算机语言中的数据存储。但是如果两个磁畴相距太近,便有可能相互干扰,使得两个磁畴“粘”在一起,不可分辨,破坏数据记录的准确性,也限制了存储密度。据悉,目前磁存储设备中的磁畴间距一般为25纳米,但斯格明子的出现可使间距缩短至6纳米。

为何斯格明子之间距离排列还能不受干扰?“这是由斯格明子本身的物理特性决定的。与磁畴不同,斯格明子内部磁矩方向不一致,整体呈现出漩涡状的自旋结构。因此两个斯格明子之间

的相互作用力较小,可以实现近距离排布,从而能够大幅度提升存储密度。”陆轻铗告诉记者,如果能够利用斯格明子作为机器存储的基本单元,存储器件的密度至少可提升1—2个数量级。换个角度来讲,在保证存储容量不变的情况下,台式电脑硬盘可将体积缩小至花生米大小,笔记本电脑硬盘的体积可与米粒相当。

存储密度和容量的提升让斯格明子迅速“虏获”了科研人员的心,更何况,驱动斯格明子“运动”的电流密度可降低至传统磁畴的百万分之一,能够有效控制存储器件散发的热量并极大地提升计算速度。陆轻铗进一步解释,斯格明子的“运动”并非其内部原子的空间位置进行了整体移动,而是原子磁矩的排布方式整体发生了传播,类似于体育看台上“人浪”的传播式移动,从而在整体效果看来,斯格明子发生了移动。学界认为,斯格明子结构稳定,在运动过程中遇到晶体缺陷或自旋缺陷时能够“视而不见”,轻易穿越,而磁畴运动时则易受晶体内部缺陷的“钉扎”,不易穿行。也有学者从能量角度试图解释其机理,认为斯格明子处于较高能态,在外力驱动下容易改变磁矩方向,实现“运动”。

## 精准操控让其“乖巧听话”太难

斯格明子在基础科学、存储应用领域都展示了诱人的潜力,但真正在现实生活中得到应用并建设成为一个相对完善的学科还有很长的路要走。

在陆轻铗看来,单个斯格明子的精准控制是亟待解决的问题之一。斯格明子的存在与否可以分别对应二进制信息存储中的0和1,这就给研究者指出了前进的方向——如何有效控制斯格明子产生和湮灭行为,并实现低能耗、快速响应的精准操控。

在微观层面,让斯格明子变得“乖巧听话”很难;在宏观世界,斯格明子材料的高度重复性制备也不是件容易的事情,更何况目前发现的斯格明子尺寸、特性不一,其载体材料还没有找到较为通用的规律。另一方面,现阶段大部分研究还只

停留在薄膜或准二维体系的材料中,三维材料中的斯格明子形态及特性还有待进一步挖掘。有学者指出,斯格明子沿着磁场方向并非简单堆叠,靠近表面处可能形成扭结,也可能产生新的结构。美国新罕布什尔大学物理系凝聚态理论教授组教授魏佳栋曾撰文表示,初步研究表明,斯格明子在三维中有更丰富的磁结构,它们的形成和动力学能够作为未来三维自旋电子学和类脑器件的铺垫。

“每一个新的思想或事物的诞生都不会一蹴而就,而是需要一个慢慢积淀的过程。”陆轻铗表示,自人类首次观测到斯格明子以来,不过短短十载,未来,还有更加广阔的空间等待着相关领域学者携手共进,探索未知,创造未知。

# 合肥先进光源:探索微观世界的最亮“慧眼”

## 第二看台

本报记者 吴长锋

作为我国筹划建设的国际最先先进低能区第四代同步辐射光源,“合肥先进光源”的设计方案和性能指标近日受到国际评审会专家组的高度评价。

正在筹划建设的“合肥先进光源”波谱覆盖中红外至中软X射线波段,是拥有最高亮度的全辐射谱段空间相干性衍射极限光源。依托先进光源,将扩展建设先进的低能区自由电子激光装置以及世界唯一的太赫兹存储环光源,从而共同构成“合肥先进光源”集群,成为国际上在低能区最领先的光源中心,面向国内外科学家开放,为量子信息、能源与环境、生命科学等领域前沿研究提供公共平台。

## 低能区全世界亮度最高

“同步辐射和同步这个词的关系不大,只是它最初是在通用电器的一个同步加速器上被发现的,故而被定名为同步辐射。正如X射线被称为伦琴射线一样。”中国科学技术大学国家同步辐射实验

室谢治教授介绍,同步辐射是一种全频谱,包含红外线、可见光、紫外线和X射线全光谱的光,这种光最突出的优点可以概括为全且亮,还有高偏振、窄脉冲、高准直等其他优点。

“在医院拍摄X光、拍CT用的常规光源,优点是结构简单,缺点是单光谱且亮度不够。”谢治告诉科技日报记者,当探测微观世界时,光就成了我们的尺寸,而刻度就是光的波长。

“同步辐射的优势,不仅全光谱而且可以简单分离出其中任意波长的光,可以针对不同尺寸的对象选用不同尺寸的光来研究。高亮度意味着我们能更快看清微观世界的信息。”谢治说,亮度不够主要是针对探测微观世界时的需求。正如夜间在家找东西,最简单方法就是打开家中最亮的灯,让眼前一目了然,从科学意义上讲,就是更多的光子被你的眼睛接受,让大脑更快对周边所有情况有所了解。

“而同步辐射就是我们探测微观世界时那盏最明亮的灯,到微观世界后,尺寸只有宏观物体的千分之一到百万分之一,要确保足够光子打到上面并散射衍射再被探测器探测到,如果没有足够的亮度(光子数),我们就需要足够的时间。”谢治说。

## 各代光源亮度逐步升级

“各代光源最主要的差别,就体现在亮度上。而这一步步的升级,就是一级比更高层次的科研平台,和奥运追求一样:更高、更快、更强。”中国科学技术大学国家同步辐射实验室主任陆亚林介绍,截至目前,已经有美国、日本、韩国等在建造第四代同步辐射加速器。而我国已经正在运行的同步辐射光源有四个,分别是北京正负电子对撞机、合肥国家同步辐射实验室、上海光源以及坐落于台湾新竹的同步辐射装置。

北京正负电子对撞机被称为一代光源,合肥国家同步辐射实验室被称为二代光源,上海光源被称为三代光源。正在筹建的“合肥先进光源”就是四代光源。其中升级的一个主要性能就是亮度,到目前为止,同步辐射仍是对微观世界研究的最有效且系统的工具,没有之一。

“不仅合肥要建,北京、上海等地也都要建。”陆亚林进一步介绍,“合肥光源”的特点是在低能端(小于2GeV),而北京、上海将主要覆盖中、高能端。

## 将清晰进行纳米结构研究

“国外科学家曾利用X射线荧光成像技术,仅

用两天时间测量汞、镉、铅等元素在梵高油画中的分布,从而重构出底层画像,最后发现,原画是如草坪这样的印象派画作,但实际上里面有一张人脸的画,只是被油彩再次覆盖。”“古代石碑上的文字已模糊不好辨认,但是在同步辐射光照下,却清晰显现了。”谢治教授说起同步辐射的应用如数家珍。

现在医院拍一个CT常需要十几到几十分钟,出片还要再等几十分钟,而利用同步辐射只需要几秒延迟,便可以瞬时成像,骨骼、血管、肌腱都清晰可见,一旦成功乃至推广开来,可在手术过程中同步看清患者整个身体骨骼肌肉的各种情况,确保全视野无死角。

谢治告诉记者,人类基因组计划的结构解析,绝大部分工作都是在同步辐射装置上完成的。

“第四代光源将继续在实现亮度提高上做文章,比现在亮度提高一百倍,理论上,测得同样的信号,测试时间可以缩短为原来的百分之一。”谢治说,在这种技术支持下,将清晰地纳米级别的结构研究,很有可能直接观测到电荷的运动,有望揭开超导以及超流动性的秘密。

## 新知

### 黑暗的深渊海沟 绝非一片“死气沉沉”

新华社记者 张建松

国际海洋界把海面6000米以下的地方称为深渊区。中国“彩虹鱼”2018马里亚纳海沟海试与科考团队首席科学家刘如龙日前告诉新华社记者,尽管深渊区面积仅占全球海底总面积的1%到2%,但巨大深度构成了独特的海洋生态系统,有许多科学之谜尚待探索。

刘如龙介绍说:“深渊区主要有海沟和海槽两种地形。目前全球已发现46个深渊区,包括33条海沟和13个海槽。33条海沟中有26条分布在太平洋,马里亚纳海沟是全球最深的海沟。”

### 深渊新物种远超预期

科学家过去曾以为,海面6000米以下的地方,由于超高的静水压力、缺乏阳光和食物供给,加之特殊的海底地形、剧烈的构造活动等极端环境因素,是一片死气沉沉、与世隔绝、毫无生命活力的世界。然而,随着人们对深渊展开科学调查,这些认识正在被颠覆。

据刘如龙介绍,早在20世纪四五十年代,苏联和丹麦的科考调查船就曾经对全球13条深度超过6000米的海沟开展了一系列调查。科学家在其中8条海沟发现了300多个新物种,其中三分之一以上的新物种都只存在于深渊环境。这些发现使科学家认识到,黑暗的深渊世界生活了极其独特的“深渊生物群落”。

随着深海调查技术进步,全球近年来又陆续开展了多项大型深渊调查活动,发现了更多深渊新物种,深渊生物量和生命活力也远超预期。例如,在深度超过10000米的汤加海沟,科学家发现了成千上万只端足类生物;在最大深度约8000米的阿塔卡马海沟,小型底栖生物的数量可达每平方米6378只;在10542米的千岛海沟,中小型底栖生物的丰度甚至高于附近较浅的海底平原。

### 深渊生物特立独行

随着深渊考察不断深入,“鱼类分布的最大深度”这一科学悬念也不断有新的发现。目前,鱼类的分布最深纪录一次次被刷新。科学家在马里亚纳海沟8145米深处已发现鱼类分布,在波多黎各海沟8370米深处还采集到鱼类样品,这是目前所知的鱼类分布最深纪录。

深渊微生物的研究结果,同样也出乎科学家预料。研究发现,深渊生物圈中微生物的丰度、多样性以及活性均非常高,绝非想象中的“死气沉沉”。通过对马里亚纳海沟沉积物分析,科学家发现,地球海洋最深处的微生物群落保持着极高的代谢活性。

在深渊海沟,科学家还观察到一些令人诧异的生命现象。例如,生活在深渊环境的端足类生物,“个头”明显比浅海中的同类大得多。人们曾在克马德克海沟7000米处捕获到体长达35厘米的端足类生物,而在浅海区生活的亲缘物种,体长仅几厘米。

又如,科学家过去曾认为,在“碳酸钙补偿深度”以下的海域,因为碳酸钙以溶解态存在,以碳酸钙为主要结构组分的生物,如有孔虫、珊瑚、甲壳类等都无法生存。然而,科学家却在深渊调查中,在“碳酸钙补偿深度”以下发现了类似生物。

“在庞大的海洋生态系统中,海面6000米以下的深渊生物特立独行。”刘如龙说,“在充满未知的深渊,还生活了哪些种类海洋生物?它们如何适应巨大的海水压力?有哪些独特的生理机制和特殊基因?这些都是海洋生物学家要解开科学之谜,也是我们此次前往马里亚纳海沟开展科学调查的目的。”

## 趣图

### 打完架秒和好 摔跤吧,印度蜥蜴



据外媒报道,有摄影师近日在位于印度卡纳塔克邦的巴拉老虎保护区捕捉到有趣有爱的一幕:一对蜥蜴在经过激烈的打斗后,充满激情地拥抱在一起,忘我的表情十分投入。

(本版图片来源于网络)

扫一扫  
欢迎关注  
共享科学之美  
微信公众号

