

闹乌龙还是摘下“圣杯” 实现“室温超导”？让子弹再飞一会儿

◎本报记者 陈曦 实习记者 沈唯

“这个结论应该是被证伪了。”南京大学超导物理和材料研究中心主任闻海虎团队在几乎复刻了美国罗切斯特大学教授迪亚斯研究的室温超导材料并完成测量以后，得出了与之完全不同的结论。除此之外，我国多个团队发表的相关实验结果也都给出了否定的结论。

3月初，迪亚斯在美国物理年会的一场报告中宣布，在1GPa(约1万个标准大气压)下，实现了294K(21℃)的室温超导。

是乌龙事件，还是迪亚斯团队确实摘下了“凝聚态物理学圣杯”？一切有待验证。但无论结果如何，都说明“室温超导”自带庞大“流量”，多年来，吸引着无数科学家在这一领域孜孜以求，躬耕不辍。

那么，“室温超导”究竟是什么？人类距离这个目标还有多远？

超导特性催生颠覆性应用

“众所周知，金、银、铜是非常好的导体材料，电阻都比较小，但是仍然存在电阻。”上海大学材料基因组工程研究院教授葛军怡介绍，超导材料是一类具有特殊电、磁特性的材料，它具有在某一临界温度下，表现出电阻突然消失且完全抗磁的特性。在理论上，超导材料导电时可以有零阻力、热损耗和衰减。

“超导材料除了零电阻性质、磁通钉扎性质，还有相位相干性质。这三个主要特性让超导体有很多非常奇特甚至是颠覆性的应用。”闻海虎介绍。

目前超导材料已应用于医学、能源、交通等多个领域，发挥了不可替代的作用。

葛军怡举例说，医院里广泛使用的核磁共振普遍需要产生特斯拉级别强磁场，该设备的分辨率与磁场的大小成正比，磁场越大越容易发现一些早期病变。而超导材料的磁通钉扎性质可以使其在强磁场下仍然保持零电阻特性，因此可以制备出非常强大的磁场。

在电网的运行中，为了降低传输中的损耗，往往需要用到超高压的输电方案。但建设超高压电网不仅需要较高的成本，还会对环境造成一定的破坏。而采用超导电缆输电，可以在几十千伏的电压下传输同级别的电力。2021年12月，我国自主建设的首条公里级高温超导电缆并网运行，在超导电缆大规模应用的征途中迈出了重要的一步。

此外，超导在储能、磁悬浮等领域的应用也在快速发展中。全球最大的国际科研合作项目“国际热核聚变实验堆(ITER)计划”，有望解决人类对清洁能源的终极需求。ITER装置是一个能产生大规模核聚变反应的超导托卡马克装置，俗称“人造太阳”。近几年快速发展的量子计算的多条路径中，基于超导约瑟夫森结设计的量子计算机是目前公认最可能实现“量子霸权”的方案。

室温超导“圣杯”为何难摘

“目前只有在极低温度或超高压下才能观察到超导性，这意味着实验中使用的超导材料无法投入到长期、常规的应用中，比如无损电力传输、超导磁悬浮列车和平价医疗影像设备。”南开大学电子信息与通信系副教授季鲁说。

从1911年荷兰科学家卡莫林发现超导现象以来，人类在探索超导材料的路上一一直没有停下脚步。100多年来，在试图解释超导机理的同时，科学家一直在想办法提升超导材料的临界温度。

将成码率国际纪录提高一个数量级

我科学家实现百兆比特率量子密钥分发

◎本报记者 吴长锋

近日，中国科学技术大学潘建伟院士、徐飞虎教授等与上海微系统所、济南量子技术研究院、哈尔滨工业大学等单位的科研人员合作，通过发展高保真度集成光子学量子态调控、高计数率超导单光子探测等关键技术，首次在国际上实现百兆比特率的实时量子密钥分发，实验结果将此前的成码率纪录提升了一个数量级。3月14日，这一成果论文在线发表于国际学术期刊《自然·光子学》上。

超高速率量子密钥分发是关键

通俗地说，量子密钥分发可以理解为在网络中额外加入一个环节，双方通过密码验证，确保安全后，再进行信息传输。基于量子力学基本原理，量子密钥分发(QKD)可以在原理上实现无条件安全的保密通信。

量子密钥分发允许远程方提取信息论安全的密钥，这已经引起了科学界长达数十年的关注。量子密钥分发不仅提供了量子安全的密码解决方案，而且还为了解奇妙的量子世界提供了深刻见解。在应用方面，提高量子密钥分发的密钥速率(SKR)是最紧迫的任务之一，因为它可以实现更

频繁的密钥交换，为更多的网络用户或高数据率的应用提供服务，帮助实现关键基础设施保护、医疗数据共享和分布式存储加密等。在理论方面，为了实现可接受的积累时间，科学家已经对严格的有限密钥分析进行了充分研究。

但到目前为止，SKR仍然限制在每秒几兆比特左右。

提高成码率对量子密钥分发的实用化起着至关重要的作用。高码率可为更多用户提供更好的服务，实现大数据共享、分布式存储加密等高带宽需求的应用。此前国际上最高的实时成码率是10兆比特/秒。

突破技术瓶颈实现更高密钥率

“为了实现更高的密钥率，需要解决系统发送端、接收端和后处理等多重技术瓶颈。”研究人员介绍，首先，在发送端，高码率QKD需要高保真度的量子态调制，然而现有QKD系统在高速调制下会产生较高误码率；其次，在接收端，同时具有高效率和高计数率能力的单光子探测器不可或缺，超导纳米线单光子探测器(SNSPD)具有高效率和高保真度的优点，但其计数率通常受到较长恢复时间的限制。此次，潘建伟、徐飞虎研究组发展了

超导材料除了零电阻性质、磁通钉扎性质，还有相位相干性质。这三个主要特性让超导体有很多非常奇特甚至是颠覆性的应用。目前超导材料已应用于医学、能源、交通等多个领域，发挥了不可替代的作用。

最先出现的是低温超导材料。闻海虎介绍，1986年之前，科学家发现的所有超导材料的最高临界温度是23.2K(-249.95℃)。低温超导材料以铌钛超导体、铌三锡化合物超导体这两类材料为代表，目前在工业界、医疗界、大科学装置等领域应用最为广泛。

就在人们对高温超导不抱太大希望的时候，1986年，瑞士的两位科学家在铜氧化物材料中发现了超导现象，并且很快合成了临界温度大于77K(-196℃)的超导材料钇钡铜氧。这类临界温度突破传统理论预言的麦克米兰极限40K(-233℃)的材料被称为高温超导体。

“需要说明的是，这里的‘高温’也只是一个相对的概念。实际上，目前已经进入实用化阶段的高温超导体的临界温度仍然在零下100多摄氏度，远低于室温，需要液氮作为制冷剂运行。”葛军怡强调。

随后，人们相继发现了二硼化镁、铁基超导在内的多个新的超导体系，并尝试通过化学元素掺杂、离子液体调控、电荷转移等方法提高其超导转变温度。但迄今为止，常压下的超导临界温度的纪录仍然由铜氧化物超导体保持。

“尽管高温超导体突破了液氮温度，可以在液氮下使用，且成本很低。但其使用依旧受限。”季鲁补充说，制冷成本和高温超导材料的一些临界参数限制了高温超导的发展。

“发现真正的室温超导体是人们的终极目标。如果室温超导材料出现，那么制冷成本会更低，室温超导材料就会更容易推广。”闻海虎说。

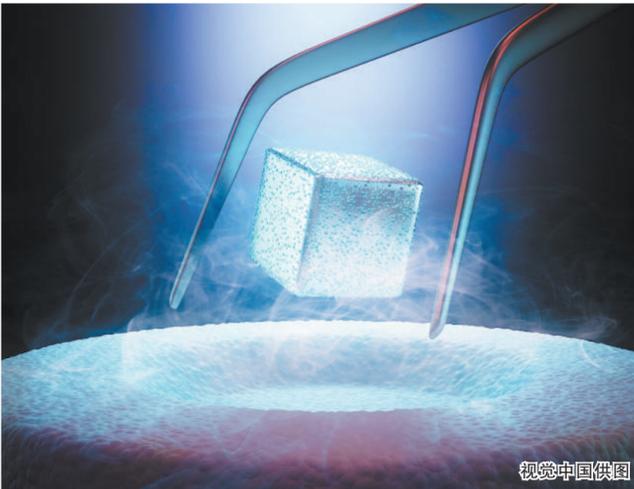
葛军怡表示，室温超导并不是一个新概念，理论研究就曾预言，原子质量最小的氢被金属化后将表现出高达室温的超导临界温度。然而，要使氢变成金属，需要外界施加极大的压力。

直到2017年，金属氢才首次被迪亚斯及其导师在高压下合成，但该实验至今仍无法被其他实验室重复。2020年迪亚斯等人报道的高压下的室温超导也因为数据可靠性存疑以及实验的不可重复性等原因在2022年9月被撤销。

“此次迪亚斯课题组的研究成果再次引起广泛关注的的原因在于，本次报道的室温超导所需要的压力条件比之前的超导物体系出现超导所需要的压力小得多，只有之前的几分之一。”葛军怡认为。

未来将如何实现室温超导

由于迪亚斯此次公布的成果降低了实验所需压力，



视觉中国供图

因此世界各地的很多实验室都具备重复试验的条件。

3月15日，闻海虎团队在预印本网站arXiv提交了一篇包括9个作者、长达16页的研究论文，题目是“氮掺杂氢化镱(LuH_{2-x}N_x)近环境条件下不存在超导性”，直截了当地否定了迪亚斯的研究结论。

“迪亚斯制备样品材料的方案几乎不可行，我们结合自己的条件，以全新的方式进行合成，得到了镱氮氢材料。”闻海虎说。

经X射线衍射仪技术检查后，该材料结构与迪亚斯的样品几乎一致。闻海虎团队随即在6万个大气压以下的不同压力下，对该材料电阻进行了测量，发现温度低至10K时都没有超导现象发生。同时，他们也进行了仔细的磁化测量，发现没有超导所需的抗磁信号。“这些发现足以说明我们制备出来的与迪亚斯团队制备的类似样品中，没有近常压的室温超导电性。”闻海虎说。

季鲁也认同这一结论。“闻海虎团队将氮掺杂氢化镱材料置于1GPa—6GPa的压强环境下，确实在300K左右的温度条件下看到了一些电阻数据的变化，但看起来应该是材料结构的变化。”他说，这种变化可以认定为一种相变，但应该不是超导相变。因此，针对这种截然相反的结果，有两种解释——要么是迪亚斯的实验条件更加苛刻，要么是迪亚斯团队的数据解读有明显错误。

“其实常压室温超导材料的实现路径，除了迪亚斯这种金属氢加高压的方向之外，还有很多其他办法。”闻海虎介绍，比如沿着原来铜氧化物超导的方向，也有可能实现常压下的室温超导，这也是国际主流方向。

理论成果往往要很久后才能投入应用。葛军怡认为，实现室温超导的路还很遥远。就如同距离高温铜氧化物超导体被发现已经过去了30余年，但目前应用最广泛的实用化超导体仍然是20世纪50年代发现的铌钛超导体、铌三锡化合物超导体等合金类的低温超导体。

闻海虎表示，室温超导是人类梦寐以求的目标。同时，我国也在积极推进低温超导和高温超导材料的应用进程，取得了较多进展。在低温超导材料的应用上，我国已基本达到国际先进水平。而在高温超导应用上，目前上海、苏州等地的公司已经能制备出钇钡铜氧超导体的带材。此外，我国科学家在目前国际上最看好的铁基超导研究领域，也作出了许多贡献。

“如果能实现更强磁场下的超导磁体技术，可以让核聚变更容易发生，再加上超级加速器，能大大降低可控核聚变成本，应用前景广阔。”闻海虎说。

在应用方面，提高量子密钥分发的密钥速率(SKR)是最紧迫的任务之一，因为它可以实现更频繁的密钥交换，为更多的网络用户或高数据率的应用提供服务，帮助实现关键基础设施保护、医疗数据共享和分布式存储加密等。在理论方面，为了实现可接受的积累时间，科学家已经对严格的有限密钥分析进行了充分研究。

集成光子片上高速高保真度偏振态调制技术，系统重频达到2.5GHz，量子比特误码率优于0.35%；结合中科院上海微系统所尤立星团队最新研制的八像素SNSPD，实现了高计数率、高效率的单光子探测，在每秒输入5.5亿个光子时仍能保持62%

新知

“隐形主角”发力 让动物都有“第六感”

◎本报记者 赵汉斌

春夏秋冬，四季轮回。为了寻找充足的食物、躲避不利环境，或者是返回有利于生存繁衍的家园，候鸟、海洋动物以及部分陆生动物群落每年都会如期展开波澜壮阔的迁徙之旅。

很早以前人们就知道，迁徙性动物并非仅仅依赖视觉观察太阳、星辰，完成长距离旅行，还会利用磁感应机制，朝正确方向前进。

然而，英国曼彻斯特大学和莱斯特大学的科学家发现，动物磁感应比人们过去认知的要更加普遍，它并非那些远距离迁徙动物的“专利”，可能所有动物都有感应磁场的能力。而这种磁感应能力可被视为“第六感”。该成果论文于2月22日发表在《自然》期刊上。

磁感应器是迁徙动物的“标配”

北极燕鸥每年往返4万公里于南北极，可可西里藏羚羊会进行上千公里的大迁徙，黑脉金斑蝶四代接力往返北美大陆……

在数千年的漫长历史中，地球上的诸多生物演化出利用微弱地磁场在海陆空不同空间、不同尺度上实现精确定向和导航的能力，其科学原理尚待深入揭秘。“迁徙动物如何利用磁场找到回家的路”，被《科学》杂志列为125个尚未解决的重要前沿科学问题之一。

研究发现，有些动物能感受到地磁场并用其导航。探测磁场变化的能力被称为“磁感应”，磁感应的机制至少有两种：第一种是磁晶，这是一种氧化铁的磁形式。这类物质在很多物种中都有发现，如鸽子的上喙、蜜蜂的腹部和鲑鱼的头部，磁晶对磁场强度的改变很敏感。

第二种机制被称为自由基对模型。20世纪70年代开始，科学家发现有些动物会跟随地球磁场移动，他们认为自由基对有着不对称的外层电子，并且形成纠缠。这种电子纠缠可以被磁场改变，从而影响动物的生化过程。人们认为，磁场会改变和影响隐花色素——一种特殊的感光色素中的电子自旋，从而使磁场的方向被确定，这也让人将隐花色素视为“第六感”控制器。

鸟类很可能同时具备上述两种机制——通过喙上的磁性物质感受磁场强度，从而确定地磁北极；而眼中的隐花色素能帮助它们辨别飞行的方向。这些非比寻常的能力既是形形色色的动物经过长期自然选择的结果，又通过基因代代传递下去。

隐花色素或不是磁感应的唯一主角

2021年，中外研究团队合作，应用磁共振光谱学等手段，对几种鸟类的磁感应关键蛋白隐花色素进行深入研究，发现迁徙鸟类——如欧洲知更鸟的隐花色素蛋白，对磁场的敏感性显著大于非迁徙鸟类，这种敏感性主要体现在自由基对中纠缠电子自旋状态的改变。相关论文发表在《自然》期刊上，引起广泛关注。

研究发现，鸟类视网膜中的隐花色素很可能就是人们长期寻找的磁感应器，隐花色素中的光敏色素辅基——黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)，吸收一个蓝光光子的能量后，会引起其基团的电子跃迁，导致“电子转移”，而信息也会传递给大脑，让动物作出判断。

然而，典型的隐花色素中心自由基对机制，并不能解释许多生理和行为观察结果。

英国曼彻斯特大学和莱斯特大学的科学家新近发表的论文认为，在隐花色素水平极低的条件下，FAD自己就能发挥磁感应功能，它在“第六感”中并不是配角。借助果蝇模型，他们发现一些生物中的隐花色素有许多氨基酸残基其实缺乏FAD的结合域，但它们仍然足够引发磁感应现象，也就是说，磁感应并不只是隐花色素说了算。

“这也是最令人震惊的发现，研究者们至少在实验室发现磁感应还有其他方式。”论文第一作者亚当·布拉德劳博士说。

人体磁感应机制应用大有前景

除了视觉、听觉、味觉、嗅觉和触觉“五感”外，人类还能利用其他感官收集信息，磁感应能力就可以被当作“第六感”。

2019年3月，加州理工学院的一个团队发表论文，证实人脑能感应到磁场，并且会对磁场变化作出强烈反应，这也是科学家首次证实人类存在“第六感”。

为此，研究团队特制了一个“法拉第笼”——创建了一个可控的磁场，让志愿者进入其中接受脑电图测试。结果显示，只有在实验磁场和环境磁场方向一致时，受试者的大脑才会作出反应。随着磁场方向和大小调整，志愿者脑电波发生显著变化，特别是脑电波中的α波。从实验结果来看，人类并非像之前所说的那样不存在磁感应能力。

布拉德劳等人也指出，尽管FAD让人的细胞对磁场作出响应，但人们却无法察觉。虽然FAD几乎在所有细胞中都存在，但水平高低不同，其水平越高就越可能产生磁感应。

这些新发现，不仅可以推进对磁感应的理解，让研究者更准确地预测人类面对磁场时的反应以及受到的影响，还可能带来新的临床应用，比如通过操控磁场来激活特定的基因，或者用磁场构建可用的临床分子工具。



红嘴鸥和棕头鸥是云南种群数量最大的候鸟，每年11月，数万只鸥从欧亚大陆北端飞到中国西南的高原湖泊越冬，于次年3月离开。图为昆明滇池草海上的鸥群。 本报记者 赵汉斌摄