

# “魔角”石墨烯 真的有“魔法”

## 超导新材料有助开发拓扑量子计算平台

■本报记者 唐凤

从双层到三层,超导消失又回来,10 特斯拉也“屹立不倒”……“魔角”石墨烯可能真的有“魔法”。

近日,美国麻省理工学院(MIT)科学家在一种被称为“魔角”三层石墨烯的材料中观察到一种罕见超导现象。这种材料在高达 10 特斯拉的高磁场下仍显示出超导性,是传统超导体预计承受能力的 3 倍。7 月 21 日,相关论文刊登于《自然》。

未参与该研究的圣母大学物理学家 Yi-Ting Hsu 表示,这种在强磁场下持续保持超导性的材料可能会带来量子计算的进步。

### 磁场奈我何

石墨烯以其独特的力学和电学特性而被称为“神奇材料”,在下一代自旋电子学应用中极具前景。

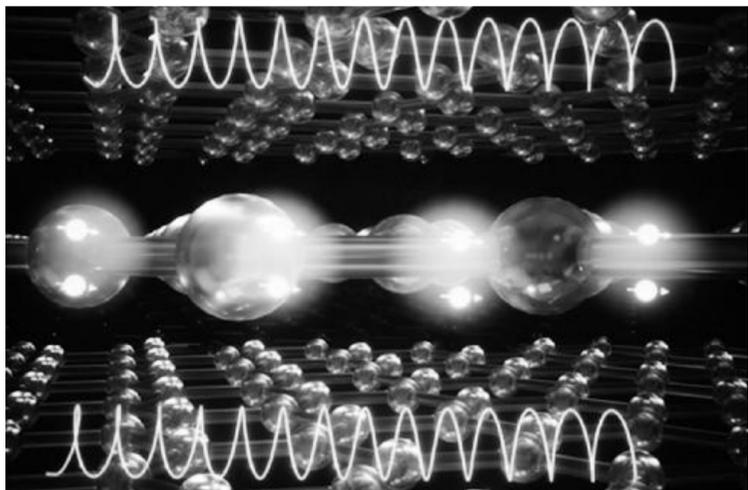
《中国科学报》从 MIT 获悉,该校物理学教授 Pablo Jarillo-Herrero、博士后曹原、研究生 Jeong Min Park,以及日本国家材料科学研究所的 Kenji Watanabe 和 Takashi Taniguchi 等人发现,“魔角”三层石墨烯是一种非常罕见的超导体,具有自旋三重态,不受强磁场影响。

通常,超导材料能在不损失能量的情况下超高效导电。当暴露在电流下时,超导体中的电子以“库珀对”的形式耦合在一起,然后就像坐上了一辆过山车,能毫无阻力地快速穿过材料。

在绝大多数超导体中,这些“乘客”两两具有相反的自旋,一个电子自旋向上,另一个自旋向下——这种构型被称为“自旋单线态”。这些电子对能很好地通过超导体,但高磁场会阻碍它们的“步伐”,因为前者会使每个电子的能量向相反方向移动,把电子对拉开。这样一来,传统自旋单线态超导体的超导性会脱轨。

“这就是为什么在一个足够大的磁场中,超导性会消失的最终原因。”Park 告诉《中国科学报》。

但也有一些超导体不受磁场影响,即便强度很大也是如此。这些材料通过具有相同自旋的电子对显示超导性,这种特性就是自旋三重态。当暴露在高磁场下时,“库珀对”中两个电子的能量会向同一方向移动,无论磁场强度如何,它们都不会被拉开,而是继续超导。



美国麻省理工学院的物理学家在一种被称为“魔角”三层石墨烯的材料中观察到一种罕见的超导现象。  
图片来源: Pablo Jarillo-Herrero 团队

续超导。

### 超导性“再登场”

2018 年, Jarillo-Herrero、曹原等人首次发现只要将两层石墨烯旋转到特定的“魔法角度”并相互叠加,就可以在零阻力的情况下传导电子。相关成果被认为可能是数十年来寻找室温超导体十分重要的一步。之后,研究人员又设计了“魔角”三层石墨烯结构。

一开始, Jarillo-Herrero 团队很好奇“魔角”三层石墨烯是否具有自旋三重态超导性。于是,他们进行了三层石墨烯测试。

结果显示,“魔角”三层石墨烯的三明治结构比双层石墨烯更强,能在更高温度下保持超导性。当研究人员施加一个适中的磁场时,他们注意到“魔角”三层石墨烯能够在磁场强度下超导,而该强度会破坏双层石墨烯的超导性。

当时,研究人员感到非常奇怪。于是,他们测试了“魔角”三层石墨烯在越来越高的磁场下的超导性。他们从一块石墨中剥离出单

原子层的碳,之后将三层堆叠在一起,并将中间一层相对于外层旋转 1.56 度。他们将一个电极连接到材料的任意一端,使电流通过,并测量在此过程中损失的能量。

然后,他们在实验室放置一个大磁铁,将磁场定位到与材料平行的方向。当增加“魔角”三层石墨烯周围的磁场时,研究人员观察到超导性在消失之前一直很强,消失后又奇怪地在更高场强下出现了。研究人员表示,之前并未在传统的自旋单线态超导体中发现这一现象。

“在自旋单线态超导体中,如果你‘杀死了’超导性,它就再也不会回来了,也就是说一去不复返了。”曹原指出,“但在这里,它又出现了。所以这种材料不是自旋单线态。”

“二维自旋三态超导体引起了广泛关注,因为有许多被预测具有名为马约拉纳零模式的奇异的零能量激发。”Hsu 在《自然》同期发表的文章中写道。

### “抵御”10 特斯拉

之后,另一个惊人的数据出现了。在“超

导性重返”后,它一直持续存在于 10 特斯拉磁场下,这是实验室磁铁能产生的最大磁场强度。根据泡利极限理论,这一强度大约是传统自旋单线态超导体所能承受的 3 倍。泡利极限理论是一种预测材料能保持超导性的最大磁场是多少的理论。

“魔角”三层石墨烯的超导性再现性,加上它能在更高磁场下保持超导的持久性,排除了这种材料是普通超导体的可能性。该团队计划深入研究这种材料,以确定其确切的自旋状态,这将有助于设计更强大的核磁共振成像,以及更强大的量子计算机。

这种超导体可能极大改进磁共振成像(MRI)等技术。MRI 通过在磁场下使用超导导线与生物组织共振并成像。相关机器目前只能在 1 至 3 特斯拉的磁场范围内工作。如果可以用自旋三重态超导体制造,MRI 就可以在更高磁场下运行,产生更清晰、更深的人体图像。

“魔角”三层石墨烯中自旋三重态超导性也可以帮助科学家为实用性量子计算设计更强的超导体。

“常规的量子计算非常脆弱。你看着它‘噗’的一声就消失了。”Jarillo-Herrero 说,“大约 20 年前,理论家提出了一种拓扑超导,如果在任何材料中实现,就可以使量子计算机成为可能,这将为计算提供无限能力。实现这一目标的关键因素是某种类型的自旋三重态超导体。我们不知道这个材料是否属于那种类型。但即使不是,三层石墨烯与其他材料一起也能让制造这种超导性变得更容易。这可能是一个重大突破,但现在下结论还为时尚早。”

Hsu 则认为,自旋三重态并不意味着观察到的超导性对拓扑量子计算有用。未来的工作需要研究超导的拓扑性质。

例如,研究人员应该确定它是否打破了时间反转的对称性——这可能是手性 p 波超导的一个迹象。他们还应该寻找旋涡核中零能态的直接证据,这将表明马约拉纳零模式的存在。

“从这些研究中获得的新知识可以帮助物理学家开发有前途的拓扑量子计算平台。”Hsu 说。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03685-y>  
<https://doi.org/10.1038/d41586-021-01890-3>

## “小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《癌细胞》

### 科学家定义不同易感性二元泛癌类

美国西奈山医院 Rod Bremner 团队定义了具有由促癌或抑癌 YAP/TEAD 活性定义的不同易感性二元泛癌类。研究成果近日发表于《癌细胞》。

他们根据 YAP 和 YAP 响应蛋白调节剂的差异表达来定义泛癌二元类。将信息学与多种小鼠和人类肿瘤类型的体内和体外功能获得和丧失研究相结合,表明相反的促癌或抑癌 YAP 活性在功能上分别定义了表达或沉默 YAP 的二元 YAPon 或 YAPoff 癌症类别。YAPoff 实体瘤是神经/神经内分泌型的,通常是 RB1,例如视网膜母细胞瘤、小细胞肺癌和神经内分泌前列腺癌。YAP 沉默是起源细胞所固有的,或者是通过谱系转换和耐药性获得的。

二元癌症组表现出不同的 YAP 依赖性黏附行为和药物易感性,强调了临床相关性。从机制上讲, YAPoff 或 YAPon 癌症中不同 YAP/TEAD 增强子分别部署抑癌整合素或促癌增殖程序。因此, YAP 对癌症至关重要,但另一方面也具有治疗意义。

研究人员表示,癌症异质性影响治疗反应,推动了人类努力发现取代变异的总体规则。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2021.06.016>

《美国医学杂志》

### 大量摄入超加工食品增加炎症性肠病风险

加拿大麦克马斯特大学 Neeraj Narula 团队研究了超加工食品摄入与炎症性肠病(IBD)风险的相关性。研究成果近日发表于《英国医学杂志》。

为了探讨超加工食品的摄入与 IBD 风险的关系,研究组在横跨 7 个地理区域的 21 个低、中、高收入国家进行了一项前瞻性群组研究。

2003 年至 2016 年,研究组共招募了 116087 名年龄 35 岁至 70 岁的成年人,进行了至少一个周期的随访和完整的基线食物频率问卷数据调查。参与者至少每 3 年进行一次前瞻性随访。采用 Cox 比例风险多变量模型评估超加工食品摄入与 IBD 风险之间的关系。

中位随访 9.7 年后,共有 467 参与者发生 IBD,其中克罗恩病 90 例,溃疡性结肠炎 377 例。在对潜在的干扰因素进行校正后,摄入超加工食品越多,发生 IBD 的风险就越高,与每天摄入不足 1 次相比,每天摄入 ≥5 次的风险比为 1.82,摄入 1~4 次的风险比为 1.67,差异均显著。

超加工食品的不同亚组,包括软饮料、精制甜食、咸零食和加工肉类,每一种都与 IBD 更高的风险比有关。克罗恩病和溃疡性结肠炎的结果一致,异质性低。摄入白肉、红肉、奶制品、淀粉、水果、蔬菜和豆类与 IBD 发病无关。

研究结果表明,超加工食品的高摄入量与 IBD 的风险呈正相关。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1136/bmj.n1554>

更多内容详见科学网小柯机器人频道:  
<http://paper.sciencenet.cn/Alnews/>

## 同类相残 雌雄“苦衷”各不同

本报讯 近日,西班牙研究人员发现,成年哺乳动物有能力杀死同类其他个体,但雌、雄哺乳动物的此类行为似乎出于不同原因。相关研究结果 7 月 21 日发表于《英国皇家学会学报 B 辑》。

生物学家已经研究过哺乳动物的杀戮行为,即成年动物杀死同类未成年个体的行为。但它们杀害同类成年个体的行为,情况与前者不同。这意味着人们不知道为什么成年哺乳动物有时会杀死同类中的其他成年动物。

为了弄清杀戮行为是否存在某种模式, José María Gómez Reyes 及同事在西班牙国家研究委员会干旱地区实验站分

析了 1384 种哺乳动物的死亡原因。

在这些物种中,研究小组发现了 352 种成年动物的死亡证据。这有蹄类动物、灵长类动物和食肉动物中尤其常见,但在蝙蝠、鲸、海豚和兔子中几乎闻所未闻。

研究小组发现雄性比雌性更有可能杀害同类,雄性也更有可能瞄准其他雌性而不是雌性。更重要的是,雄性和雌性哺乳动物杀死同类成年个体的动机通常是不同的。

“我们发现杀戮和杀死成年雌性个体之间的关系很有趣。”Gómez Reyes 说。雄性哺乳动物更有可能杀死其他

成年雄性个体以赢得竞争,而雌性哺乳动物更多的是为了保护幼崽免受成年动物的攻击而大开杀戒。然而,当资源匮乏时,雌性动物也可能杀死其他成年雌性个体的幼崽。

“雄性动物对生殖的贡献真的很小,它们只是产生精子,并且尽可能频繁地交配。因此,在我看来,母象为了保护幼象不被杀而杀害其他成年象是完全有道理的。”英国诺丁汉大学 Kate Durrant 认为,该行为是为保护自己的后代所做的“投资”,它们不会不战而退。(辛雨)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1080>

## 专家认为唯有科学溯源才能揭开真相

(上接第 1 版)

### 溯源要“真求起源”

“科学研究在溯源工作中发挥了至关重要的作用。”徐南平说,疫情发生后,我国部署了五大科研方向,溯源是其中之一,并被摆在非常重要的位置。

通过与各国科学家的共同努力,我国溯源研究取得了积极进展。截至 7 月

19 日,中国与美、英等国外团队联合发表溯源相关论文 225 篇,国内研究团队发表论文 352 篇;依托国家生物信息中心,建立了全球共享的新冠病毒信息库,已收集分享全球范围的新冠病毒基因序列 253 万余条,为全球 177 个国家和地区近 30 万用户提供了服务。

但“我们进一步认识到,病毒溯源是一个科学难题,存在着诸多不确定性。”徐南平表示。

## 十米级! 小型化自由电子激光器首次“发光”

(上接第 1 版)

研究团队通过设计特殊的等离子体密度分布结构,优化控制电子束的注入过程与加速过程,使得电子束综合品质得到有效提升。同时,通过控制与优化电子束相空间演化,他们实现电子束从等离子体到真空的平稳过渡,并设计相应的束流传输与波荡器辐射系统,实现电子束长距离传输并有效耦合至波荡器中。

研究团队首次在实验中观测到极紫外波段的辐射信号,典型的辐射波长 27 纳米,单脉冲辐射能量最高可达 150 纳焦级。通过轨道偏移以及自发辐射定标等方法证明最后一段波荡器中能量增益高达 100 倍。

不过,“目前仅是实验验证小型化、低成本自由电子激光加速器可以发射自由电子激光,距离工程化应用还有很长的距

离。”上海光机所副所长、强场激光物理国家重点实验室主任冷雨欣强调。

### “不见出光誓不还”

2012 年,上海光机所“新一代超强超短激光综合实验装置”项目团队成立,承担国家自然科学基金委首批重大仪器专项的科研攻坚任务。

“加班奋战三百天,不见出光誓不还。”在这支队伍成立之初,实验研究团队就在实验室屏幕上写下了这句话。但距离这次重大突破,他们用了 3000 余天。其间,在激烈的国际竞争中,这支队伍不断交出优异成绩:2015 年 6 月,自主研制的超强超短激光装置成功运行;2016 年 9 月,实验获得激光尾场电子加速领域电

子束世界最高亮度;2018 年 1 月,同时承担上海超强超短激光实验装置(“羲和”激光装置)的建设;2019 年 8 月,实现台式化自由电子激光放大输出;2019 年 12 月,完成“新一代超强超短激光综合实验装置”现场测试和全部指标的验收……

当时这支队伍中,35 岁以下青年比例达到 75%。正是这些年轻人勇于投身基础研究,甘于坐“冷板凳”才能取得今天的突破。在上海光机所,这支队伍是其“一体两翼”的重要组成部分。

上海光机所所长郁建达介绍,该研究所以强激光科学与技术为“主体”,激光物理与材料物理为“两翼”,坚持需求导向和前瞻引领,夯实研究所在本领域基础研究方面的领先优势,加快原始创新和关键核心技术攻关。

未来,研究团队将进一步提升自由电子激光的输出功率和光子能量,并作为“羲和”激光装置中超快化学与大分子动力学研究平台的重要组成部分,实现开放共享。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03678-x>

## 科学线人

全球科技政策新闻与解析

## “哈勃”又回来了!



哈勃太空望远镜。  
图片来源: NASA/Smithsonian Institution

在因电脑故障停机一个多月后,哈勃太空望远镜似乎又复活了。《科学》网站报道称,随着从之前运行的有效载荷控制计算机切换到备份设备,“哈勃”操作人员已经重新建立了与望远镜所有仪器的通信,并让它们恢复正常运行。

“‘哈勃’回来了!”哈勃望远镜任务办公室负责人 Tom Brown 给美国太空望远镜科学研究所工作人员发了一封电子邮件说,“看到‘哈勃’再次探索宇宙,我很激动。”

问题出现于 6 月 13 日,当时控制和检测科学仪器的有效载荷计算机发现了与仪器通信中的一个错误,并将仪器设置为安全模式。“哈勃”操作人员最初以为是一个存储模块出了问题,但切换到 3 个备用模块中的一个后,也出现了同样的错误。由于错误持续存在,研究人员对其他各种设备进行了检查。

最终,该团队决定,整个科学仪器指挥和数据处理单元(SIC&DH)——有效载荷计算机是其一部分——应该从当前操作的仪器切换到备用设备。于是,工作人员在地面上进行了演练,并全面检查了相关仪器,以确保切换工作可以在不损害望远镜其他设施的前提下进行。

就在切换设备启动前不久,美国宇航局宣布,已经确定了 SIC&DH 的电源控制单元(PCU)是此次问题的源头。PCU 为有效载荷计算机提供稳定的电压供应,它要么提供了超出正常范围的电压,要么检测到电压传感器给出了错误读数。SIC&DH 有一个备用 PCU,可以继续切换工作。

7 月 16 日, Brown 表示,“哈勃”A 面的 SIC&DH 成功恢复到正常模式。

消息传来时,英国伦敦大学学院天文学家 Richard Ellis 正在接受《科学》的采访,他说:“你得告诉大家我们有多紧张!这个望远镜一直是真正的全球性设施。每个人都是‘哈勃’的朋友。它是独一无二的。”

2018 年,“哈勃”曾因陀螺仪失灵暂停运转,之后同样在切换到备用陀螺仪后恢复正常运行。(林菁菁 鲁亦)

## 欧洲致命洪水 让科学家目瞪口呆



突如其来的山洪袭击了德国许多社区。  
图片来源: AP PHOTO/MICHAEL PROBST

在致命洪水席卷德国西部和比利时部分地区的 4 天前,供职于欧洲洪水警报系统的 Hannah Cloke 就看到了极端降雨的预报。

那时研究人员很庆幸这么早就预测到这一极端天气,认为警报很有帮助。但现实是,尽管有足够的警报,极端降雨还是给部分地区带来了毁灭性的灾难。

这震惊了科学家。在他们看来,不应该在 2021 年还能看到这么多人死于洪水。“这不应该发生!”

随着灾害破坏越来越严重,欧洲科学家正在努力研究,为何在洪水预报和准备工作投入巨大的最富裕和最先进国家,极端降水依然带来了如此程度的破坏。他们还希望弄清楚,气候变化是否助长了这场灾难,这对未来意味着什么。

随着分析的开始,研究人员发现,气候变暖可能引发极端降水。同时,欧洲洪灾应对规划聚焦了主要河流,而不是受风暴影响最严重的水量较低的支流。“我们一直在关注大河。”荷兰代尔夫特水务教育研究所城市洪水管理专家 William Verbeek 说,“在较小的河流中,我们还有很多事情要做。”

多年来,科学家一直警告说,气候变化将导致欧洲和其他地区出现更多洪水灾害。因为温暖的空气含有更多水分,这会转化为更大的降雨。欧盟委员会联合研究中心的研究数据显示,如果不做更多准备,预计到 2100 年,欧洲洪水每年造成的损失可能从现在的 78 亿欧元攀升至 480 亿欧元,受灾人数可能增加 1 倍多,达到 35 万人左右。

洪水已经成为北欧最具破坏性的自然灾害,预测报警系统似乎在席卷而来的强灾害面前显得十分无力。科学家目前仍在对极端天气的发生情况进行分析,以期找到更有效的应对措施。(徐锐)