



主办:中国科学院 中国工程院 国家自然科学基金委员会 中国科学技术协会

总第 8527 期 2024 年 6 月 17 日 星期一 今日 4 版

新浪微博 <http://weibo.com/kexuebao>

科学网 www.sciencenet.cn

用“神奇眼睛”首次发现“无摩擦的冰”

为低维受限条件下水输运超润滑现象提供实验证据

■本报记者 崔雪芹

在光滑如镜的冰面上,滑冰者可以毫不费力地疾驰而过,几乎没有阻力。这是因为冰表面有一层很薄的液态水,可以起到润滑作用。不过,摩擦力尽管很小但仍然存在,滑冰者最终还是会上停下来。那么,是否存在一种“无摩擦的冰”呢?

北京大学物理学院量子材料科学中心江颖教授、王恩哥院士等组成的研究团队给出了肯定答案。他们利用自主研发的国产 qPlus 型扫描探针显微镜,发现了二维冰在石墨烯表面上的超润滑行为,澄清了低维受限条件下超快水输运特性的根源。相关成果 6 月 14 日发表于《科学》。

“超润滑常见于非公度的刚性晶体界面,因此,能在相对柔性的二维冰体系中发现超润滑现象是非常令人意外的。原子尺度受限体系中的水很可能形成了类似于冰的有序结构,并表现出超润滑特性,这或许就是这些体系中超快水输运的起源。”王恩哥表示,这一机制将推动纳米流体工程和纳米摩擦学的发展。

无摩擦的水输运

在传统观念中,液体在固体表面流动时会受到摩擦力的阻碍。与宏观世界中水的输运不同,在微观世界里,当水通道的尺寸小到几纳米甚至亚纳米时,会产生许多有趣的现象。比如,在纳米流体器件中,当水分子与石墨烯表面相遇时,仿佛进入了一个意想不到的滑冰场。

这些水分子在石墨烯表面滑行自如,摩擦力几乎为零,展现出了超乎寻常的无摩擦输运特性,即超润滑性。然而,水是如何实现超润滑的?受限体系中水的结构又是怎样的?

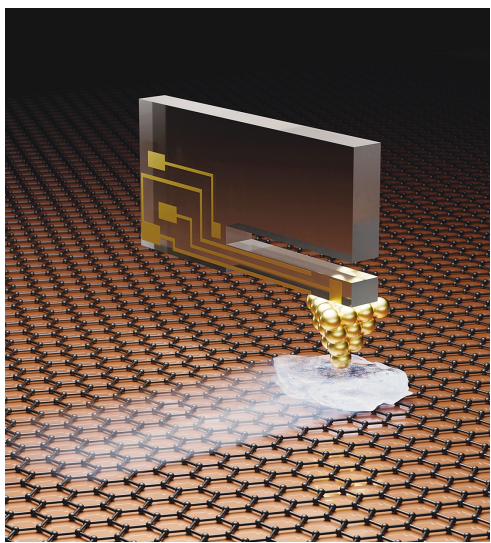
诺贝尔物理学奖得主、“石墨烯之父”Andre Geim 在 2018 年一次分子尺度水科学会议上提出的这些问题,引发了江颖的思考。

此外,科学家发现,当使用不同材料制造纳米流体器件时,水在这些器件中的输运性质表现出极大的差异。例如,尽管石墨烯和六方氮化硼在结构上非常相似,但水在石墨烯纳米通道中的透过率比在氮化硼纳米通道中的大一到两个数量级。然而,理论预测这两个体系的摩擦力差异是三到五倍。

由于直接测量受限水的结构和摩擦力面临巨大挑战,这些谜团仍然悬而未决。经过 6 年探索,江颖团队终于有了结果。

揭秘二维冰的“超润滑”

考虑到低维纳米通道内的水往往呈现出类冰的结构,为了深入探究超润滑机理,江颖团队



利用扫描探针显微镜针尖对冰岛进行操纵。课题组供图

利用 qPlus 型扫描探针显微镜这一“神奇的眼睛”,直接看到了石墨烯和氮化硼表面上二维冰的原子结构。结果表明,这两种表面上的二维冰都呈现出双层互锁的六方冰相,这种二维冰相与表面之间形成了很弱的范德华相互作用。

借助扫描探针显微镜的针尖,研究人员能够精确移动单个原子或分子,甚至测量出原子级别的摩擦力。然而,在面对大面积且脆弱的二维冰时,想要实现稳定而精准的操控和摩擦力测量并非易事。

研究团队通过反复的实验尝试,制备出一种特殊形状的针尖,可对二维冰岛进行非破坏式的操纵。

“经过反复的讨论和理论模拟,我们发展了一种新方法,通过测量针尖与冰岛的相互作用能,可以推算出二维冰岛与衬底之间本征的摩擦力。”论文第一作者、北京大学物理学院博士研究生赵正朴说。

研究人员发现,在石墨烯表面,随着二维冰面积的增大,单位面积的摩擦力却在以 -0.5 的幂指数逐渐减小,直至小于极低的 1 皮牛,这一行为与超润滑现象的理论预测相吻合。而在氮化硼表面,二维冰单位面积的摩擦力始终保持在较高的恒定值,是传统的摩擦行为。这些实验结果与理论模拟结果保持了高度一致。

进一步模拟还表明,对于石墨烯表面上尺寸较大的二维冰岛,其静摩擦系数甚至低于 0.01,证实了石墨烯表面二维冰的超润滑特性。

为什么二维冰在石墨烯表面能够表现出如此出色的超润滑特性,而在氮化硼表面却不能呢?通过同时对二维冰的晶格及其所在的衬底晶格进行成像,研究人员发现,石墨烯表面的二维冰展现出两个互成 30° 夹角的氢键网络取向,且与石墨烯的晶格之间并没有明显的匹配关系(非公度)。尽管氮化硼的晶格与石墨烯非常相似,但硼-氮键的极性使得二维冰与氮化硼的晶格呈现很好的公度关系。

如果把二维冰和衬底分别比作拼图块和拼图格,对于非公度的二维冰/石墨烯体系,拼图块就好像被放在了一个完全不匹配的拼图格上,想要移走它非常容易。因此,二维冰在石墨烯表面上是超润滑的。

“超润滑”的应用潜力

“这项研究为低维受限水输运中的结构超润滑现象提供了首个确凿的实验证据,揭示了其不同于传统超润滑体系的微观机理。”江颖告诉《中国科学报》,纳米通道中的水流不再是简单的液体流,而是可能形成类冰的超润滑输运,这为我们理解受限体系中水的超快输运提供了新认识。

利用水与石墨烯之间的超润滑特性,未来的海水淡化设备将实现更高效、更环保的水资源利用。当海水通过石墨烯纳米通道时,水分子可以毫无阻碍地通过,而盐分和其他杂质则被留在通道外。这样一来,不仅能大大降低成本,产生的废水和废弃物也大大减少,真正实现了绿色、可持续的海水淡化。

利用石墨烯纳米通道作为过滤介质,可以实现对水中微小颗粒的高效拦截和过滤。由于石墨烯纳米通道的孔径可以被精确控制,因此人们能够精准过滤不同大小的颗粒。

同时,石墨烯表面的超润滑特性使得过滤过程更加顺畅和高效。这种高效的纳米过滤技术将在水处理、空气净化等领域发挥重要作用,为人们创造更加清洁、健康的生活环境。

在纳米流体器件如微型涡轮发电机中,利用超润滑纳米通道,可以使水流更加高效地推动涡轮旋转,进而产生电能。这种高效的能量转换方式,在微观尺度上提供了全新的能量捕获方法,有望为微纳系统供电提供新思路。

在能源、水净化、生物医学等领域,这些系统可能会带来更高的效率、得到更广泛的应用。随着技术的不断进步,纳米流体的超润滑操控技术将成为推动未来科技创新的重要力量,为生产生活带来更多的可能。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1126/science.ado1544>

《求是》杂志发表习近平总书记重要文章《开创我国高质量发展新局面》

新华社北京 6 月 15 日电 6 月 16 日出版的第 12 期《求是》杂志将发表中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平的重要文章《开创我国高质量发展新局面》。这是习近平总书记 2017 年 10 月至 2024 年 3 月期间有关重要论述的节录。

文章指出,新时代我国经济发展的特征,就是我在党的十九大报告中强调的,我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。高质量发展是“十四五”乃至更长时期我国经济社会发展的主题,是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。没有坚实的物质技术基础,就不可能全面建成社会主义现代化强国。在强国建设、民族复兴的新征程,我们要坚定不移推动高质量发展。

文章指出,高质量发展,就是能够很好满足人民日益增长的美好生活需要的发展,是体现新发展理念的发展,是创新成为第一动力、协调成为内生特点、绿色成为普遍形态、开放成为必由之路、共享成为根本目的的发展。更

明确地说,高质量发展,就是从“有没有”转向“好不好”。

文章指出,加快实现高水平科技自立自强,是推动高质量发展的必由之路。加快构建新发展格局,是推动高质量发展的战略基点。发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点。坚持高质量发展要成为领导干部政绩观的重要内容。各地区要结合实际,因地制宜、扬长补短,走出适合本地区实际的高质量发展之路。

文章强调,我们必须牢记高质量发展是新时代的硬道理,完整、准确、全面贯彻新发展理念,因地制宜加快发展新质生产力,把加快建设现代化经济体系、推进高水平科技自立自强、加快构建新发展格局、统筹推进深层次改革和高水平开放、统筹高质量发展和高水平安全等战略任务落实到位,完善推动高质量发展的考核评价体系,为推动高质量发展打牢基础。要谋划进一步全面深化改革重大举措,为推动高质量发展、推进中国式现代化持续注入强劲动力。

钱学森工程与技术科学研讨会召开

本报讯(记者倪思洁)6 月 14 日至 16 日,“钱学森工程与技术科学研讨会暨首届钱学森杰出青年奖颁奖典礼”在京举行。

中国科学院力学研究所(以下简称力学所)党委书记刘桂菊在致辞中指出,工程实践依然是力学学科的生命力所在,强劲推动力学学科的发展意味着钱学森先生工程科学思想仍然充满着活力,富有指导意义。钱学森先生有着巨大的号召力和感染力,力学所联合中国科学院大学教育基金会设立钱学森基金,依托基金设立了钱学森杰出青年奖,旨在奖励在基础研究、服务国家需求和关键核心技术攻关中取得突出成就的我国力学界青年科技人才,激励更多青年科技工作者以钱学森先生为榜样,树立远大理想,坚定科技报国的信念,勇于创新,敢于突破,为我国科技事业贡献自己的力量。

会上,浙江大学杨卫院士作了题为《新时代的技术科学》的报告,介绍了技术科学的内涵、演变脉络,技术科学与科技强国建设,新时

代技术发展面临的挑战,以及发展新质生产力、技术科学的建议等;中国船舶科学研究中心吴有院士作了题为《船舶与海洋装备力学的发展与必须关注的前沿关键问题》的报告,简要介绍了船舶力学的发展状况,提出了船舶力学研究与应用须关注的核心问题;力学所何国威院士作了题为《多尺度力学:工程科学的实践和前沿》的报告,介绍了力学所遵循钱学森提出的从科学原理到技术创新的工程科学思想,在多尺度力学领域的探索和实践。

会议围绕“钱学森工程与技术思想和新质生产力”展开了深度对话,激发更多力学及相关领域的学者积极适应变化、寻求创新,推动新时代力学学科的持续发展,促进力学在科技强国的征程中发挥更大作用。

力学所正高级工程师李文皓、中国科学院大学教授刘廷、力学所研究员王一伟、复旦大学教授徐凡等 4 位力学领域科研人员获得首届钱学森杰出青年奖。

肖文交：逐梦新疆这片沃土

■本报记者 冯丽妃

巍巍雪山,茫茫戈壁,新疆艰苦的环境给探索者带来了极大挑战。

对于沉积大地构造学家、中国科学院院士肖文交来说,这片荒凉外表下蕴含丰富科学宝藏的土地是他这一生逐梦的沃土。

在这里,肖文交做了大量地质科学研究工作,带领团队取得了中亚大陆演化等方面重要成果,抢占了地球科学增生造山和大陆地壳生长及资源环境效应研究的学术制高点,为新疆矿产资源勘查提供了理论和技术支撑。如今,培养年轻学者、投身科普工作、推动科研成果转化……他正在新疆的地质殿堂里继续逐梦。

逐梦新疆雪山戈壁

1996 年夏天,在中国科学院地球物理研究所(中国科学院地质与地球物理研究所前身之一)从事博士后研究的肖文交第一次来到新疆,翻越天山到西昆仑开展野外科学考察。从那时起,前往新疆野外考察几乎成了他每年的“必修课”。

增生造山与大陆生长是固体地球科学研究的前沿热点和难点。新疆及邻区的广袤地带是国际公认的解剖增生造山与大陆生长的最佳野外实验室。肖文交瞄准这一国际学术前沿热点,把研究重心投向新疆及邻区的雪山戈壁。

“置身于大自然这些高耸入云的雪峰和一望无际的荒漠,你会感受到一种独特的孤独和沉静,仿佛世界都在你脚下。同时,你也会被大自然的魔力深深吸引,向往、探索、研究这片充满未知的神奇土地。”肖文交说。

在这样的野外环境中工作,有让肖文交难以言表的欣喜和豪迈,也有意想不到的艰难险阻。在昆仑山,肖文交曾带队勇闯甜水海、河尾滩等无人区,在海拔 5000 多米的雪峰克服强烈的高原反应,完成考察任务;蹚过冰冷刺骨的溪水,攀爬近乎直立的绝壁,终于到达蛇纹岩、辉长岩等露头区,获得关于特提斯古海洋的关键样品;因负责全队给养和救援的重型卡车陷入河床泥沙,赤脚踏入冰冷的河水挖车;与考察队员们和天睡在被雪覆盖的帐篷中,在清晨阳光的照耀下形成一道亮丽的风景。

肖文交至今依然记得,早些年和团队在东山天-北山戈壁考察,返程时因“搓板路”十分颠簸,车子突然熄火,油路和油箱都凝固了。他指挥大家寻找可燃物,想用火烤备用油箱,但只找到为数不多的骆驼刺,风滚草,最后甚至把工作的棉手套都烧了,才得以发动汽车,有惊无险地走出那片戈壁。

肖文交因为考察中持续强烈的高原反应,留下了偏头痛的后遗症。但他依然觉得:“作为一名地质科技工作者,新疆及邻区就是自己科研创新的沃土。”

在多年的野外工作中,他一门心思研究我国北方造山带构造演化过程,成矿作用及环境气候效应,取得了一系列重要成果,把中亚增生造山研究推向了国际学术前沿。



肖文交在天山开展野外考察。中国科学院新疆分院供图

论文写在西部大地

国际学术界在上世纪 90 年代提出增生造山作用,最佳研究地区是西昆仑及以北广大中亚地区。然而,由于关键证据缺失,地质学界对中亚造山带大陆生长的详细过程存在很大争议。

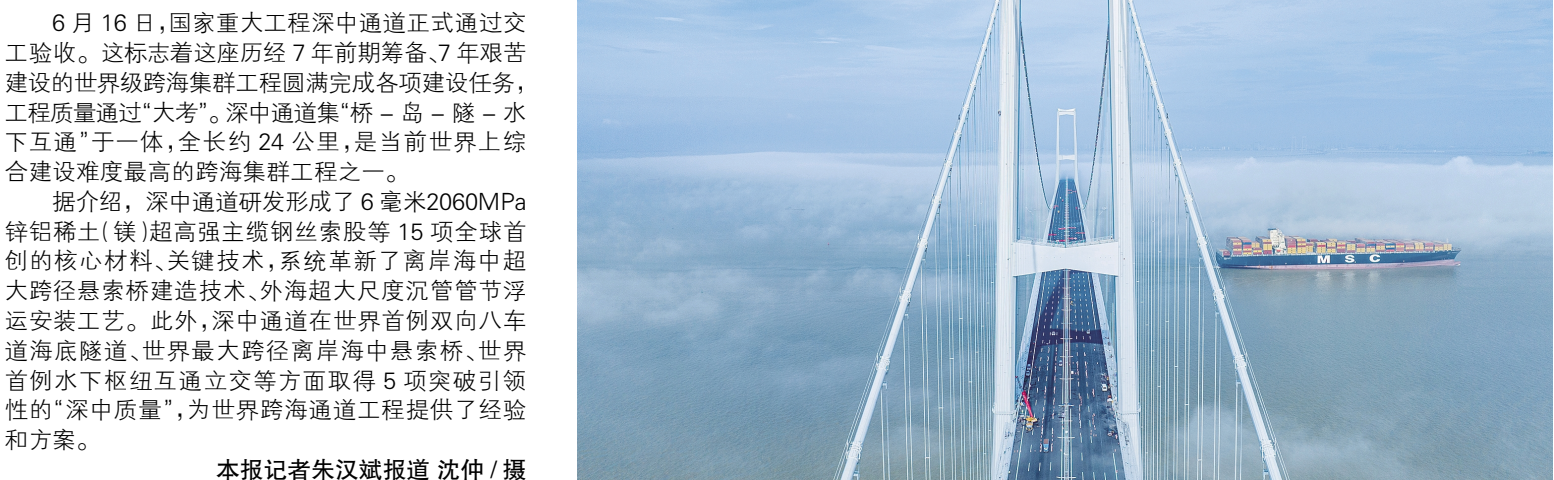
解剖中亚造山带,是大地构造学研究中的一块“硬骨头”。面对国际上激烈的学术争议,肖文交沿着多方位、多维度的解剖思路,与团队一起,在中亚大地坚持不懈地探索大陆增生的关键证据。通过探索每一处可能存在重大证据的“无人区”,像“搭积木”一样,逐步拼贴出整个中亚造山带多重汇聚增生模型。

“多重汇聚就是中亚地区的构造演化从整体上考虑,得出中亚造山带是不同拼贴体从多方汇聚为一个整体的结论。这样的汇聚过程还有一个长期演化特征,共同构成了中亚大陆的多重增生拼贴构造。”肖文交说。

在数十年如一日的研究中,肖文交坚持把论文写在祖国西部大地,解决了解剖中亚造山带过程中的“拦路虎”,论证了长期复杂大陆增生造山作用,创建了增生楔-增生楔拼贴、多向汇聚复式增生造山模型,发展了增生与大陆增生机制理论,建立了主要矿床成矿过程与增生造山作用的内在联系,丰富了增生造山成矿理论,促进了新疆找矿勘查工作,探索了中亚地区构造-环境-气候相互作用及其演化机制。

这些研究工作获得国内外科学家的广泛认可。通过这些研究,肖文交先后获得第二届全国创新争先奖章、国家自然科学基金二等奖、何梁何利基金科学与技术创新奖、新疆科技进步奖一等奖、新疆科技进步奖一等奖等奖项,并在 2019 年当选中国科学院院士。

(下转第 2 版)



本报记者朱汉斌报道 沈仲/摄

今夏为何热得这么猛?专家释疑此轮北方高温

本报讯(记者高雅丽)近日,我国北方高温天气持续发展。6 月 16 日,中央气象台继续发布高温黄色预警,本轮高温中心将位于京津冀一带,局地气温可再度冲上 40℃。

目前我国高温过程综合强度为近 5 年来全国历年高温天气过程第五强,228 个国家气象站日最高气温超过 40℃,有 11 个国家站日最高气温突破 6 月极值。

为何今年热得这么猛?国家气候中心首席专家郑志海表示,阶段性大气环流异常是区域高温天气形成的直接原因。

“我国东部地区的高温主要受西太平洋副

热带高压和西风带暖高压的共同影响。在暖高压控制的地区盛行下沉气流,天空晴朗少云,不易成云致雨,同时太阳辐射强,近地面加热强烈。在高压系统异常强大且稳定维持条件下,极易形成持续性高温天气。”郑志海说。

那么,今夏我国是否会出现破纪录高温天气?国家气候中心气候服务室副主任李修仓认为,今年夏季,全国大部地区气温较常年同期偏高,高温日数偏多。其中,华北、华东、华中、华南、新疆等地可能出现阶段性高温热浪,部分地区可能出现极端高温。

国家气候中心气象灾害风险管理室研究员

翟建青说,近年来我国高温天气已呈现出首发日期提前、发生频次增加、累计日数增多、影响范围变广、综合强度增强等特点。全国区域高温天气过程首次发生日期以每十年 2.5 天的速率提前,累计日数平均每十年增加 4.8 天,平均强度以每十年 6.2% 的速率增强。

针对高温天气带来的不利影响,翟建青表示,高温天气加剧脆弱人群和户外劳动者的健康风险,各地中暑和热射病事件增多,需做好户外出行、农业生产等保障措施,尤其是独居老人、长期慢性病患者、降温设施不足的低收入家庭和户外作业人员。