

量子涨落定理: 开启未来能源的“密钥”

■ 叶满山

想象一下,如果手机在不充电的情况下,仅靠周围环境中微小的能量波动就能永远保持满电状态,是不是很酷?近日,兰州大学教授安钧鸿与吴威团队在量子热力学领域取得的重要进展,有望让这种科幻电影中的情节变为现实。

他们的研究成果不仅挑战了传统认知的边界,更给量子热机的未来设计带来无限可能。近日,相关研究成果发表于《物理评论快报》。

量子热力学: 能源科学新引擎

“量子热力学为新的产业革命提供了原始创新驱动力,是量子科技的重要组成部分。”安钧鸿告诉笔者。

近20年来,随着量子科技的蓬勃发展,物理学家将19世纪根据实验观测与规律总结建立起来的热力学定律,推广到有限自由度的微观小系统,提出了一系列问题。

传统热力学定律在量子力学与远离热平衡情况下是否还成立?在传统热力学中,温度、熵、热与功等概念在量子力学框架下是否需要修改与拓展?

这些问题促使物理学家重新审视并重构热力学理论框架。量子热力学不仅关注微观系统的能量转换与热交换,还试图通过量子力学原理揭示能量、信息与熵之间的深层次关系。

“在传统热力学框架内,热机的能量转换效率受制于卡诺极限。这一极限由热力学第二定律决定,无法通过经典调控手段来突破,制约了当今社会各类热机的能源转换效率,如空调、冰箱、汽车等。”安钧鸿说。

但在量子热力学框架内,利用量子压缩或量子相干性等量子资源,人们可以突破卡诺极限,设计出性能优于经典热机的量子热机,从而变革性地提高能量转换与使用效率。

因此,在安钧鸿看来,随着人类对能源需求的日益增长,量子热力学对能源科学的重要性不言而喻。

能量革命: 解锁无线充电的量子电池

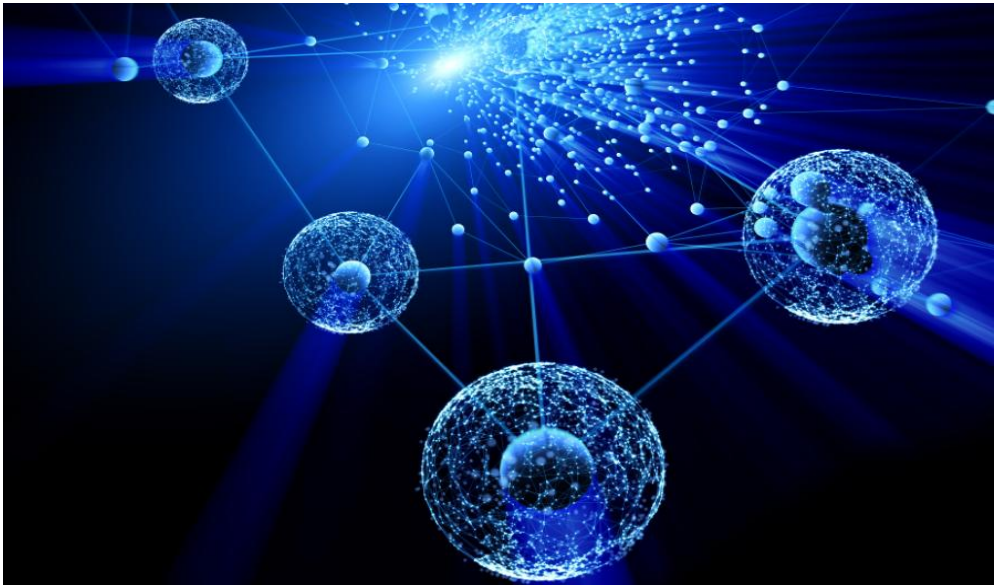
安钧鸿团队长期在量子科技领域从事基础研究,不断追寻颠覆传统认知的量子效应,一直是他们的目标。

在前期工作中,安钧鸿团队将新奇的量子效应与量子调控手段运用到磁力计、光学陀螺仪和低温温度计等精密测量方案,以及作为雷达基础的高分辨率量子探照的研究中,并取得了一系列重要成果。

“在量子计算、通信与精密测量的热潮中,我们意识到,量子效应不仅能够重塑信息的存储、运算与提取,更有可能在能量领域引发一场革命。”安钧鸿说。

2024年初,安钧鸿团队在量子热力学方面取得了一项重要研究成果——提出了无线充电的抗老化量子电池方案,解决了传统量子电池普遍存在的充电低效与能量损耗问题。该研究受到国内外科技媒体的广泛关注,《自然》还将其作为“研究亮点”进行了报道。

安钧鸿表示,与依赖锂等材料储存电荷的传统化学电池不同,量子电池利用微观系统的量子能级存储能量,既不



资料图

会闪存,也不会污染环境。不仅如此,得益于量子纠缠,量子电池的充电速度也远超传统化学电池。“审慎乐观地预测,未来一旦研发出量子电池,光伏的光电转换效率将显著提高。”

然而,这仅仅是个开始。

在量子电池无线充电的成功背后,安钧鸿团队发现了更加深邃的科学奥秘——量子电池与充电器之间的能量传输表现出的丰富的非平衡特性具有普适性。

“这会深刻影响包括功与热在内的能量交换,从而改写传统量子热力学中建立在系统-环境弱耦合基础上的量子热的涨落定理。因此,在这一研究工作的启发下,我们顺势进入量子热力学涨落定理这一研究领域,并取得了重要进展。”安钧鸿说。

广义量子涨落定理: 突破传统框架

在量子热力学中,远离平衡态的能量、信息及熵等因热涨落,量子涨落与非平衡弛豫影响而随机变化,需要通过概率分布描述。研究发现,这些非平衡态热力学量的统计规律与平衡态物理量间存在恒等式,即量子涨落定理,它桥接了非平衡态的随机性与平衡态的确定性,是量子热力学发展的重要里程碑。

通过大量计算与分析,安钧鸿与吴威团队认识到,传统量子热的涨落定理失效的根源在于系统-环境强耦合破坏了系统非平衡过程的细致平衡条件。细致平衡条件指在趋向平衡的过程中,系统从一个微观状态演化到另一个微观状态的概率与其逆向演化的比值由环境的温度唯一决定的物理性质。

接下来,他们证明了传统涨落定理在量子强耦合下不再适用,并明确了理论边界。

然而,真正的挑战在于如何修补之前的漏洞,构建一个在所有参数空间内都能稳固站立的广义涨落定理。

“这要求我们不仅要理解量子系统与外部环境间复杂而微妙的相互作用,还要具备创新思维,以超越传统框架的方式重构热力学的基本原理。”安钧鸿说。

经过无数次讨论与尝试,该团队最终提出一种创新性解决方案——通过引入“有效温度”概念,巧妙恢复了量子系统在非平衡态下的细致平衡条件。安钧鸿介绍说:“这一概念的引入,如同在量子热力学的复杂迷宫点亮了一盏明灯,使我们能够清晰看到通往广义涨落定理的道路。”

这一研究方法提供了一个探索强耦合量子系统中能量交换规律的标准研究范式,既可以推广到其他系统,也可以用于探索其他热力学量的量子涨落定理。研究提出的广义量子涨落定理提供了一项量子热的全面研究,深化了量子热力学的研究范畴,重塑了人们对强耦合系统中量子热涨落特性的理解。

这也为该团队下一步探索非平衡量子热机提供了一个非常有效的调控机制——通过优化耦合强度,提升热交换效率。

在热机循环中,传统热力学限制了能量传输的调控,而广义量子涨落定理揭示了其独特的非平衡能量交换特性,能够精准控制能量传输,有望超越传统热机效率。这一发现也为非平衡热力学定律的建立提供了新思路。

在传统热力学框架内,吸、放热过程的能量传输取决于两个热库的温差,是不可调控的。“在量子热力学框架下,我们通过广义量子涨落定理,能精细调控这些非平衡特性,实现对能量传输的精准控制,突破传统热机的性能限制,此定理不仅为构建高效非平衡量子热机提供了有效的调控策略,还有望引领量子能源技术的潜在革新。”安钧鸿说。

美洲肺鱼拥有动物最大基因组



美洲肺鱼 ■ 资料图

南美洲的一种肺鱼是迄今发现的拥有最大基因组的动物。近日,一项发表于《自然》的研究显示,这种肺鱼的基因组包含了910亿个碱基,是人类基因组的30倍。

通过将美洲肺鱼基因组与其他肺鱼基因组进行比较,研究人员确定,美洲肺鱼每1000万年向其DNA中添加相当于一个人类基因组的基因。

肺鱼被称为“活化石”,是一种呼吸空气的总鳍鱼类。此外,它被认为与所有脊椎动物最古老的共同祖先最为相似。自2018年以来,德国维尔茨堡大学进化生物学家Axel Meyer、Manfred Scharl和同事一直致力于破译三大洲的肺鱼基因组,以更好地了解脊椎动物的进化。

他们首先对澳大利亚肺鱼的鳍骨进行了测序。这些鳍骨与人类和其他陆地动物的四肢相似。然后,他们转向非洲肺鱼,其鳍骨已大大减少。现在,他们又研究了美洲肺鱼,它的鳍变小了,而基因组是澳大利亚和非洲同类的两倍。

这个庞大的基因组中包含了生物体的基因,用4种不同化学“字母”,即核苷酸或碱基编写的蛋白质指令,以及有用的RNA编码。但绝大多数的美洲肺鱼基因组是由其他东西组成的——被称为转座因子的重复片段,它们可以自我复制,并将这些副本插入DNA中。

肺鱼基因组是如何被重复DNA弄得如此混乱的?研究人员将其与其他脊椎动物基因组进行比较

王方

106米! 我国大盾构水下掘进深度创纪录

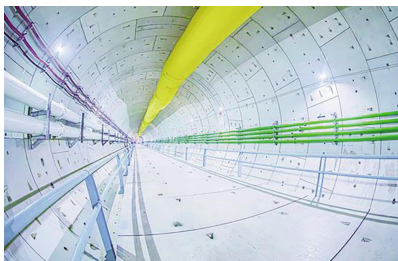
8月19日,我国自主研发的海底隧道盾构机“深江1号”完成3590米既定掘进任务,顺利抵达珠江口水域海平面下106米,创下中国大盾构水下掘进最深纪录,也是世界高铁路盾构隧道掘进的最深海底纪录。

全长13.69公里的珠江口隧道是深江铁路重点控制工程,采用矿山法+盾构法组合施工。其中,中铁十四局采用一台开挖直径13.42米的“深江1号”盾构机,从东莞虎门向广州南沙方向掘进3590米。掘进过程中,盾构机下穿多条主航道,先后穿越13种地层、5种复合地质,全断面硬岩掘进长达2.75公里,花岗岩强度最高达124.6兆帕,还连续穿越17条断裂带及分支。区间工程复杂的水文及地质条件,为工程带来了极大的难度。

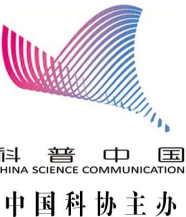
据介绍,隧道盾构段最低点位于珠江口水面下106米,“深江1号”盾构机最大承受水土压力达1.06兆帕,相当于指甲盖大小的面积上承受10.6公斤的压力,在国内尚无同等条件的工程经验和设计标准可供参考。

针对施工难题,“深江1号”盾构机配置了常-带压重型复合刀盘、可伸缩主驱动、双层壳体,同时集成了高精度大流量环流、高效重载物料运输、主驱动密封自动加压、盾尾间隙测量、管片自动选型及浮动检测、隧道通风制冷等一系列智能化系统,确保盾构机在超高压、超大埋深、裂隙发育的不良地质段连续、稳定、安全掘进。

朱汉斌



成型隧道
刘福昌摄



科普中国APP

新型气体传感器可快速检测肺癌关键标志物

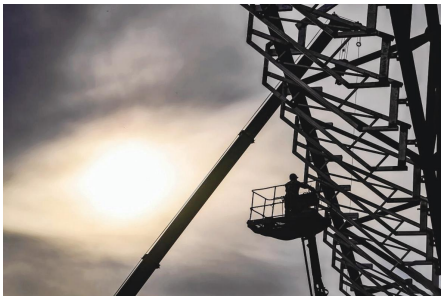
西安交通大学教授方吉祥团队结合介孔金和金属有机框架,成功制备具有高灵敏度和快速富集能力的新型气体传感器。该研究提出了纳米铸造中“软包裹”策略,解决了多年来利用介孔模板纳米铸造法制备贵金属介孔结构中产物向分子筛模板外扩散溢出的技术难题。相关研究成果近日发表于《纳米快报》。

肺癌是世界范围内最致命的癌症之一,肺癌的早期诊断对于提高患者生存率至关重要。然而,现有的检测方法存在灵敏度低、成本高和操作复杂等问题。呼出气体分析作为一种非侵入性、快速且友好的检测方法,近年来备受关注,但在气态分析物的富集和检测灵敏度方面有待进一步提升。

上述研究所使用的介孔金合成技术,来源于方吉祥团队2018年的研究成果。在本次研究中,团队发现,介孔金因其大的比表面积和三维互通的孔道结构,有助于气态待测物的扩散与富集,而ZIF-8空心壳层可以进一步富集目标分子,从而显著提升了检测的灵敏度。研究表明,该传感器对肺癌诊断中的关键生物标志物苯甲醛的检测限达到了0.32ppb,相较于文献中测试结果提升明显,显示出对早期肺癌快速诊断的潜力。该新型纳米结构在气体传感领域同样具有广泛的应用前景。

严涛

重庆: 错峰作业



连日来,重庆持续高温天气。由中铁建设、中铁建工等单位承建的重庆东站站房及配套综合交通枢纽工程实行错峰作业,在做好高温防护的前提下确保工程进度。8月17日,中铁建工工人在重庆东站站房及配套综合交通枢纽工程二标段项目作业。

王全超

甘肃张掖: 立秋过后采收忙



近日,收割机在甘肃省张掖市甘州区安阳县苗家堡村麦田收割小麦。立秋过后,甘肃农民在田间忙着采收陆续成熟的作物。

陈礼

广西靖西: 百名绣娘展名锦风采



近日,广西百色靖西市举行第三届“百名织(绣)娘赛技艺”非遗手工技能大赛。比赛现场,100名身着壮族传统服饰的织(绣)娘齐聚一堂,她们以针为笔,以线为墨,各展所长,巧妙地将传统元素与现代审美相结合,创作出了一系列既具有民族特色又符合现代审美的作品。

新华网