



# 量子涨落定理:开启未来能源的“密钥”

■本报记者 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《中国科学报》。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、焓、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测的研究中,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,既不会闪爆,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。

“这会深刻影响包括与热在内的能量交换,从而改写传统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、信息及焓等因热涨落、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。

“这就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度,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。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.050401>

# 中国科学院院士陆林:五大精神心理问题影响青少年健康成长

■本报记者 陈祥琪

目前,全球约有 10%至 20%的儿童青少年患有精神心理疾病,其中焦虑障碍和抑郁障碍约占 43%。中国 6 至 16 岁儿童青少年精神心理疾病总患病率为 17.5%,高于成人各类精神疾病 16.6%的终生患病率。

近日,在接受《中国科学报》采访时,中国科学院院士、北京大学第六医院院长陆林给出了上述数据。

“精神心理疾病已成为我国乃至全球不容忽视的一项公共卫生危机。然而由于文化背景的不同,当前我国仍然存在家庭或个人回避精神心理问题而将其归结为其他问题的现象,患者普遍存在病耻感。因此,知识科普和宣传教育是非常有必要的。”陆林说。

## 青少年五大精神心理问题

陆林表示,抑郁障碍、注意缺陷与多动障碍、孤独症谱系障碍、自杀与自伤、物质使用障碍是儿童青少年常见的五大精神心理问题。

2022 年,中国科学院心理研究所对我国 29 个省(自治区、直辖市)的 3 万多名 10 至 16 岁中小学生学习展开调查。调查显示,约 14.8%的青少年存在不同程度的抑郁风险,其中 4%为重度抑郁风险。

“中学生抑郁障碍发病率最高,导致他们的学业水平、家庭关系和社会功能受到严重影响。”陆林说。

注意缺陷与多动障碍主要表现为注意力不集中、多动以及冲动,常伴有学习困难、品行障碍和适应不良。“我国儿童青少年注意缺陷与多动障碍发病率达 6.4%,其中 30%至 50%会持续到成年。这些患者患病原因大多与低社会经济地位、成长在单亲母亲家庭、是独生子女、

有 3 个或以上兄弟姐妹、男性、家族遗传、有福利院居住经历或负性生活事件有关。”陆林表示,注意缺陷与多动障碍还可能增加患者的暴力行为,亟须家庭提高相关认识。

孤独症谱系障碍是一种由神经系统失调导致的发育障碍,其核心症状为社会交往障碍、交流障碍、兴趣狭窄和刻板重复行为,常伴有智力残疾、睡眠问题、学习障碍、极端挑食、抽搐、肥胖、胃肠道不适等症状。

“发达国家孤独症谱系障碍的患病率高于 1.5%,我国的发病率虽不足 1%,但近年来呈上升趋势。”陆林表示,高龄妊娠、两次怀孕间隔过短、早产、低体重、小于或大于胎龄儿等因素都会增加孤独症谱系障碍的发病风险。“随着社会经济进步和思想观念变化,现在很多女性无法在 23 至 28 岁的最佳年龄完成生育,但晚育对胎儿健康仍是风险因素。”

另外,随着年龄的增长,青少年自杀风险也在增加。数据显示,自杀是全球 10 至 19 岁青少年的第四大死亡原因,每年约有 45.8 万青少年因自杀死亡。“成年人的死亡原因多是癌症和心脑血管疾病,但在儿童青少年中,自杀和自伤已成为除交通事故伤害外最不可忽视的病因。”陆林表示。

作为国际麻醉品管制局委员,陆林还谈到了物质使用障碍的问题。调查显示,在大多数地区,青少年使用大麻的比例高于 15 至 64 岁年龄段人群。“每次在联合国开会,我们都非常担心毒品对青少年的影响,因为这种影响是终其一生的。为了促进经济发展和减少犯罪,一些国家建议大麻合法化,但实际上这一做法未能实现其目的。如何减少毒品对社会特别是对青少年的长期危害,仍然是全球亟待解决的问题之一。”陆林说。

(下转第 2 版)



8 月 19 日,全国超 1400 万名卫生健康工作者再次迎来自己的专属节日——中国医师节。

自 2018 年起,每年 8 月 19 日被定为“中国医师节”,旨在加强医师职业规范、行业自律,改善医患关系,并向每一位医者致敬。今年迎来第七个中国医师节,主题为“崇尚人文精神,彰显医者仁心”。图为中国医师节当天,在沈阳盛京医院,一场大型义诊活动吸引了大量市民。图片来源:视觉中国

# 高能同步辐射光源加速器调束进入快行道

本报(记者倪思洁)记者从中国科学院高能物理研究所获悉,8 月 18 日,高能同步辐射光源(HEPS)储存环流强达到 12 毫安。这是 HEPS 建设的又一重要里程碑,标志着 HEPS 加速器调束进入了快行道。

HEPS 是我国乃至亚洲首台第四代同步辐射光源,也是全球首批 10 皮米弧度量级自然发射度的光源之一。其核心是一台具有极低发射度的全新储存环加速器,物理设计极具挑战性。

“为了实现国际一流的加速器及光源整体性能,磁铁、电源、真空、注入、机械、准直、高频、束测、控制、定时、插入件等硬件指标要达到第四代光源的高标准和高质量。”HEPS 工程总指挥、中国科学院高能物理研究所研究员潘卫民介绍说:“调束初期,储存环就有 1776 块磁铁、2500 余台电源、578 个电子束流位置探测器、1360 米真空室、3 个高频腔、2 个脉冲冲击器和切割磁铁,控制信号超过 10 万路。任何一个微小的硬件错误,例如一个硬阻栏或设备安装错位,都会影响电子束的轨迹。另外,HEPS 与众不同,它有注入和引出两块切割磁铁,垂直物理孔径仅两三毫米,对调束来说,无疑是一个巨大挑战。”

经过 5 年建设,7 月 1 日,HEPS 储存环完成全部设备研制和安装,并启动多系统联合调试,随后加速器物理与各硬件系统交叉协作,完成磁铁极性测试、硬件远端测试、调束软件-硬件测试等加速器联合调试。此外,为了应对超低发射度储存环首圈调束可能面临的各种挑战,加速器物理与束测系统基于增强器开展了大量束流实验,为储存环调束监测手段做了充分准备。

“HEPS 调束团队在很短的时间内就取得了很好的调束成果,可以说几乎没有走一点弯路,表现非常出色。”中国工程院院士、HEPS 科学技术委员会主任、储存环调束总顾问陈霖玉说。下一步,HEPS 调束团队将提升和优化电子束流流强、寿命等参数,力争尽早为光束线站供电。



2024 年 8 月,HEPS 航拍图。中国科学院高能物理研究所供图

表现非常出色。”中国工程院院士、HEPS 科学技术委员会主任、储存环调束总顾问陈霖玉说。下一步,HEPS 调束团队将提升和优化电子束流流强、寿命等参数,力争尽早为光束线站供电。

# 植物-微生物交互作用是调控胞外酶湿地排水响应的关键

本报(记者田瑞颖)近日,中国科学院植物研究所研究员冯晓娟、特别研究助理赵云鹏等在《自然-气候变化》发表最新研究成果,解析了胞外酶活性对湿地排水的差异化响应规律和调控机制。

湿地储存了全球约三分之一的土壤碳,淹水厌氧环境对胞外酶活性的抑制作用被认为是湿地有机碳长期积累的关键因素之一。然而,湿地胞外酶活性对排水的响应存在极大的不确定性,明确其背后的调控机理有助于准确预测气候变化下湿地碳动态及其对气候的反馈。

为此,冯晓娟团队在 2020 至 2023 年间,对我国 30 个经历了 15 至 55 年长期排水的湿地,包括 14 个泥炭藓湿地和 16 个非泥炭藓湿地进行了配对采样,通过胞外酶活性测定、微生物宏基因组及植物代谢组分析,结合文献数据整合和室内培养实验,解析了胞外酶活性对湿地排水的差异化响应规律和调控机制。

研究人员发现,尽管短期排水通过增加土壤氧气含量普遍促进了湿地酚氧化酶活性,但是胞外酶活性对长期排水的响应在泥炭藓和非泥炭藓湿地中截然不同。在非泥炭藓湿地中,长期排水通过增加植物次级代谢产物,特别是抑菌酚类的含量,降低了合成酚氧化酶的微生物和相关功能基因的丰度,进而导致酚氧化酶活性下降。相反,在泥炭藓湿地中,排水导致富含抑菌酚类代谢产物的泥炭藓被草本植物所取代,进而增强了合成酚氧化酶的微生物丰度,提高了土壤酚氧化酶活性,并进一步增强了水解酶活性。

因此,研究表明,植物-微生物交互作用是调控湿地胞外酶活性对长期排水响应的关键因素。该发现突破了以氧气作用为核心的经典“酶控”机制,揭示了气候变化下植物功能性状变化对湿地碳动态的重要调控作用。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1038/s41558-024-02101-3>

# 美未批准将摇头丸作为精神疾病治疗药物



本报(记者沈春蕾)近日,美国食品药品监督管理局(FDA)作出决定,未批准将 MDMA(又称摇头丸)作为精神疾病治疗药物。这让许多科学家感到惊讶,并担忧该决定会对其他迷幻药研究造成影响。

美国制药商 Lykos Therapeutics 曾向 FDA 提交申请,请求批准将 MDMA 药物作为创伤后应激障碍(PTSD)突破性疗法的一部分。但据《自然》报道,目前 FDA 已致函 Lykos,要求该公司对 PTSD 患者进行另一次大规模药物试验,并重新提交申请。

美国佛罗里达州立大学研究毒品政策的

Mason Marks 指出,FDA 通常会采纳其独立咨询委员会的建议,而在 6 月独立咨询委员会的投票中,有压倒性票数反对批准该药物的合法性,理由是该药物在临床试验设计上存在问题,难以确定其安全性和有效性。

FDA 的一个担忧是,Lykos 让患者在服用药物的同时进行心理治疗。美国多学科致幻剂研究协会(MAPS)的创始人 Rick Dobbin 说,这种药物的效果与心理治疗是分不开的。但由于 FDA 没有对心理治疗进行监管,因此很难对该策略进行评估。

美国哈佛大学生物伦理和法律专家 Glenn Cohen 表示,很多公司将心理治疗作为其治疗方案的一部分。美国斯坦福大学研究致幻剂的麻醉学家 Boris Heifets 表示,任何开发这些药物的公司在提交给 FDA 的文件中都会包含心理治疗成分,但 FDA 很难厘清药物和心理干预措施对

治疗效果的影响。值得一提的是,围绕 MDMA 的一些担忧似乎是 Lykos 特有的。美国临床与经济评论研究所 5 月发布的一项调查称,Lykos 治疗师曾向研究者施压,要求他们只报告积极的结果,而且该公司员工对该药物的宣传也影响了参与者的判断。

目前尚不清楚 FDA 是否正在调查这些争议,也不清楚这些争议对其决定有多大影响,但其他机构正在采取行动。8 月 10 日,《精神病学》杂志撤回了 Lykos 的 3 篇论文,理由是作者没有向该杂志阐明上述问题。

澳大利亚监管机构去年宣布,允许精神科医生为 PTSD 和其他疾病患者开具 MDMA。而 FDA 的决定使得 MDMA 的使用在美国无法合法化,这使科学家感到失望,将 MDMA 作为一种精神疾病治疗药物进行研究也变得极其困难。(李木子)

# 新研究为东北黑土区粮食增产提供支撑

本报(记者沈春蕾)解析水土资源演变特征、面向农田和生态系统协同发展进行水土资源优化配置,对东北黑土区生态安全和粮食增产具有重要意义。近日,中国科学院东北地理与农业生态研究所研究人员对东北黑土区 40 个城市的水土资源进行了优化配置和生态安全保障分析。相关研究成果发表于《科学通报》。

研究结果表明,在气候变化和人类活动的影响下,1980 年以来,研究区域水田和旱田面积分别增加了 91%和 14%,林地、草地和湿地分别减少了 2%、27%和 10%;2001 至 2020 年东北黑土区平均水资源总量为 1972 亿立方米,大部分城市的地表水资源量、地下水资源量以及水资源总量呈现增加趋势;在水平年常规灌溉、水平

年节水灌溉、枯水年常规灌溉、枯水年节水灌溉 4 种情景下,东北黑土区主要粮食作物的毛灌溉需水量在 491 亿至 722 亿立方米之间。

研究还发现,优化配置后,在水平年通过增强节水,水稻种植面积仍可增加 13.7%;其余水平年通过调整种植结构和增强节水,也可大幅提高粮食产量、农民收入、固碳量和生态效益,减少水资源开发利用,保障东北黑土区粮食安全 and 生态安全。

针对目前水土资源存在的问题,研究人员提出了相关对策建议,为东北黑土区粮食增产工程和生态安全提供策略支撑。

相关论文信息:  
<https://doi.org/10.1360/TB-2023-1270>