

研究人员首度实现声子激光频率梳——可测量声音的“尺子”来了

■本报记者 王昊昊

日常生活中，人们用尺子丈量长度，精准又方便。在国防科技大学实验室里，科研人员造出一把特殊的“尺子”——它看不见，摸不着，却能丈量声音的世界。这便是国防科技大学激光陀螺创新团队教授罗晖、副教授肖光宗课题组联合该校教授景辉团队，将弗洛凯工程(Floquet工程)应用于非线性声子激光中，首次实现的声子激光频率梳。其梳齿数量达到40余个，梳齿之间的相位相关性显著增强，为水下声学工程、生物医学成像等声学传感应用提供了一把新型“声尺”。研究成果近日在线发表于《科学进展》。

水下等领域呼唤“超级声尺”

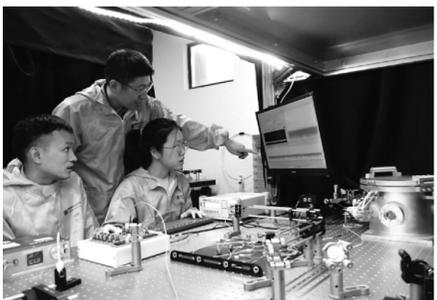
想象一下，如果要测量一张桌子的长度，最直接的方法是用一把尺子。但若测量地球到月球的距离，或细胞内部的微小结构，传统的尺子显然无能为力。

在光学领域，这种“尺子”已经存在，它就是光学频率梳(光频梳)。光频梳好比一把能测光的频率的“尺子”，科学家约翰·霍尔、特奥多尔·汉斯凭借光频梳在精密光谱学、原子钟、超快物理等领域的重要应用，共同获得了2005年诺贝尔物理学奖。作为光的“标尺”，光频梳已经为光通信、光谱检测、光学测距、光频标等诸多领域带来革命性变化。

“光频梳的神奇之处在于，它能根据不同频率的光精确地‘排列’起来，就像一个超级精准的齿轮组，能将极低频率和极高频率连接起来，实现前所未有的测量精度。”肖光宗说，但光也有短板，比如在水下，光会迅速衰减，传播不远。这时，声音就成了更好的选择。声波在水中的传播能力极强，损耗远小于光。因此，科学家们一直在声学领域也制造出一把类似光频梳的“声尺”。

近十年来，科学家们在电机系统、光机电系统和光机系统中，利用机械波混频、霍普夫分岔和非线性机械耦合等机制，研制出了声子频梳。同时，科学家们正在探索声子频梳在水下测距、医学成像等方面的应用。然而，这类声子频梳是基于热声子产生的，其梳齿和梳齿之间不具有相干性。

“早期的声子频梳就像一群没有经过训练的士兵，虽然也排成了队列，但彼此



肖光宗(中)和团队成员探讨科学问题。 王昊昊/摄

间步伐不一，杂乱无章。这种杂乱在科学上被称为缺乏相位相干性。”景辉解释说，没有相干性，就像用一把刻度模糊、晃动的尺子去测量，精度会大打折扣。

景辉介绍，声子激光就是一群步调完全一致的声子，是光学激光在力学领域的对应物。它攻克了声子频梳中梳齿不相干的问题，在基础研究和应用研究领域具有更广泛的价值。但声子激光频率梳一直未能实现，还没有人能做出这把“超级声尺”。

学术交流会所来的新思路

研制声子激光频率梳，就是造一把刻度又多又整齐、步调完全一致的“超级声尺”。它兼具光频梳的高精度和声子频梳在液体、固体中传播能力强的优点。

2023年，该团队发表于《自然-物理学》的一项成果成功构建非线性声子激光，但依旧面临梳齿数量少、梳齿间距难以调控等挑战。非线性声子激光具有多个声子激光谱带，但是数量非常有限。如何扩展声子激光的模式数量，且保证新生成的模式仍然具有相干性，成为团队首先要解决的难题。

“也就是说，我们已找到一群能‘齐步走’的‘声波士兵’，但这支队伍规模太小，因为梳齿少，且士兵间的间距，即梳齿间距没法自由调整。”肖光宗告诉记者，团队开始大量查阅文献，希望能启发新思路。在茫然又焦头烂额的时候，一次学术交

流给他们的研究带来转机。Floquet工程，就是一种通过有节奏地、周期性地扰动一个系统，来控制和创造新物理状态的方法，已在诸多物理系统中展现出非凡的能力，成功诱导出时间晶体等新奇物理现象。

“2024年10月，在长沙举行的国防科技大学第四届前沿交叉科技论坛上，团队成员首次接触到Floquet工程这一强大技术。”肖光宗说，可以把Floquet工程想象成一种非常有规律的训练方法，就像让士兵们听着节拍器走路，引导他们跟上统一的节奏。“或许可用这种方法，让声子激光‘士兵’们形成更多、更有规律的‘队列’。”有了理论方向，实验落实却并非易事。经过团队讨论，实验的关键是要让非线性声子激光发生周期性变化。为此，他们首先尝试用周期性改变“捕获光功率”来充当“节拍器”，希望能带动声子激光的载体做周期性运动。但几个月过去了，实验毫无进展。

既然“节拍”不够明显，那能不能把它放大？团队成员灵光一闪，将调制装置安装在能量更强的“泵浦激光”上。果然，这个调整让“节拍”被显著放大，实验效果立刻有了起色。又产生更多的频率还不够，它们还必须等间距、相位相干。紧接着，团队让相邻的频率“队列”相互靠近、合并，最终形成能量集中、间距均匀的完美“梳齿”结构，成功做出了声子激光频率梳。

一把“尺子”开启声学传感革命

“光频梳的梳齿数量因不同研究和应用有所差异，少则几十根，多至上百万根。因此，我们实现的声子激光频率梳40余个梳齿，相较于光频梳是比较少的。”肖光宗表示，团队已通过其他原理，使声子激光频率梳齿超7000个，这个数量已超过一般光频梳。

那么，声子激光频率梳的诞生，究竟能带来哪些实际变革？肖光宗举了几个例子。在水下探测领域，它将彻底改变传统声呐的精度局限。

传统声呐采用连续声波，测距精度仅能达到几十微米，且无法实时监测；声子频梳虽能将精度提升到几百纳米，但依赖强度信号的测量方式仍有局限；而声子激光频率梳凭借相位相干性，可将精度再提升两个量级，达到百纳米。

“这意味着我们能监测海沟的微小变动、冰川的缓慢移动。”肖光宗说，海沟的地质活动往往以每分钟几十到几百纳米的速度进行，传统设备无法捕捉，而声子激光频率梳可以实时、高精度地记录这些变化，为地质灾害预警、海洋地质研究提供关键数据。此外，在水下目标探测中，它能更清晰地识别小尺寸目标，比如潜艇的微小部件、水下机器人的精细操作，对水下工程具有重要意义。

在生物医学成像领域，声子激光频率梳同样潜力巨大。目前的B超采用特定频率的声波，成像分辨率受限于频率单一性，且易受生物组织噪声干扰。“声子激光频率梳有40多个频率分量，相当于用‘多把尺子’同时测量。”肖光宗解释，比如用10个频率测量，通过频率间的相互减法，能最大限度剔除组织噪声，将成像分辨率从微米级提升到纳米级。未来，它或许能成为“纳米级B超”，清晰观测细胞内部的结构变化，为癌症早期诊断、神经科学研究提供新工具。

而在计量领域，声子激光频率梳也有望发挥重要作用。目前，光频梳无法覆盖低频段，而声子激光频率梳已能实现从几赫兹到几十兆赫兹的覆盖。“如果能上声子激光频率梳的高频段与光频梳的低频段重叠，就能构建从赫兹级到太赫兹级的‘全频段标尺’。”肖光宗表示，这将为量子计量、精密机械制造等领域提供更全面的校准方案。

“国防科技大学激光陀螺创新团队由中国工程院院士高伯龙创建，有着五十多年的激光陀螺研究历史。”罗晖表示，首个声子激光频率梳不仅构建了高性能声子激光频率梳新范式，更为离子系统、光子晶体系统等多种声学平台生成声子激光频率梳提供重要思路。声子激光频率梳具备的高精度、可编程等特性，使其在高分辨率声学传感、片上频谱操作、拓扑声学探索等领域具有广阔的应用前景。

相关链接信息：
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adv9984>

集装箱

人工智能赋能科学研究专题论坛在沪举行

本报讯(见习记者江庆龄)9月21日,2025浦江创新论坛人工智能赋能科学研究专题论坛在上海举办。

论坛现场,上海人工智能实验室联合多家科研机构共同发起的“科学智能战略科技力量联盟”正式成立。联盟将依托人工智能(AI)、推动理论研究、技术研发、落地应用一体化,加速“从0到1”重大科学发现进程和“从1到N”技术突破,加强AI与生物制造、量子科技、脑科学、化学材料、气候能源等领域技术协同创新。

在论坛主旨演讲环节,多位专家学者分别从基础研究、技术研发、产业应用与国际合作等维度作前沿报告。在圆桌对话环节,

围绕“从AI辅助到自主发现:科学智能体如何重塑科研范式”这一核心议题,学术界和产业界代表针对智能体在验证自动化、学科交叉及自主进化等前沿领域的应用挑战与发展前景进行了深入探讨。

会上,上海人工智能实验室、上海科学智能研究院、清华大学、中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心等单位共同发布了“2025人工智能赋能科学研究共创成果”,集中展示了我国在科学智能领域取得的突破性进展。此外,上海创智学院分别与上海人工智能实验室、上海科学智能研究院签署战略合作协议,将在人才培养、科学智能联合攻关等方面开展深度合作。

我国首款心血管AI-OCT大模型问世

本报讯(记者李媛)9月20日在西安举行的中华医学会第二十七次心血管年会“人工智能AI-OCT在PCI精准诊疗应用专题”上,我国首款心血管AI-OCT大模型正式发布。该系统通过AI大模型赋能医疗影像设备,辅助心血管数据库的海量临床数据基础,提升光学相干断层成像(OCT)的解读效率与精准分析水平,大幅降低OCT技术的使用门槛,有望成为血管介入治疗(PCI)手术最精准的指导工具。

据介绍,OCT技术被业界称为心血管影像领域的“光学活检”,具有10-20微米的超高分辨率,是诊断动脉粥样硬化、斑块侵蚀等复杂病变的核心工具。深圳市中科微光医疗器械有限公司(以下简称中科微光)在OCT技术基础上,进一步融合临床诊疗循证学证据与AI大模型,实现了诊疗能力跨越式升级。

眼科AI-OCT大模型通过智能识别易损斑块、钙化分布、支架贴壁情况等关键信息,实时调取相似病例手术方案、循证学数据等功能,自动生成诊断报告,助力专家聚焦复杂病例,大幅提升手术效率,并提供更为精准的手术治疗策略。

为验证临床实用性,今年5月,中科微光联合国内4家心血管领域顶尖医院,同步启动AI-OCT设备与AI大模型多中心临床试验。结果显示,该系统不仅误诊率低、可实现“秒级”影像分析,还能自动生成符合学术规范的结构化诊断报告。

2025年度《阿尔茨海默病患者安全调查报告》发布

本报讯(见习记者江庆龄)近日,在第32个世界阿尔茨海默病日来临之际,2025年度《阿尔茨海默病患者安全调查报告》正式发布。该报告是中国老年保健协会阿尔茨海默病分会(ADC)年度系列报告之一,也是国内首次发布关于阿尔茨海默病患者安全方面的报告。

该报告由ADC发起,基于全国30个省区市的1000余名阿尔茨海默病及相关认知障碍患者及家属的真实情况调查,围绕“认知障碍患者整体安全情况”“不同地域、不同机构患者安全风险特征和差异”“呼吁全社会共同关注认知障碍患者的安全问题”三个维度,全面揭示了阿

尔茨海默病及相关认知障碍患者安全情况,为后续针对性安全管理奠定基础。

值得一提的是,由上海交通大学医学院附属仁济医院神经内科主导的《中国阿尔茨海默病报告2025》在今年8月发布。该报告显示,我国现存的阿尔茨海默病及其他痴呆患病人数近1700万例,患病率略高于全球平均水平,且随着年龄增加不断上升。由于缺乏针对明确病因机制的治疗药物,阿尔茨海默病临床诊疗需求远未满足。报告显示,73.6%的认知障碍患者曾发生安全风险,超过1/3的认知障碍患者曾发生跌倒、走失、用药错误这三种甚至更多的安全风险。

农业科学发现大模型完成系统升级

本报讯(记者李晨)在近日举行的第十届华为全联接大会上,中国农业科学院生物技术研究所联合作物科学研究所、北京畜牧兽医研究所与华为技术有限公司团队宣布其深度合作的农业科学发现大模型完成系统升级。

该模型继今年6月在华为全球开发者大会上首次发布后,进一步实现了能力集成跃升、中枢意图识别、多智能体交互、任务自主规划等功能优化,有效推动了农业生物育种从“经验试错”迈向“智能创制”新范式。

升级后的农业科学发现大模型进一步融合自然语言交互能力,面向基因挖掘、性状预测、方案设计等场景,支持“零代码”自

然语言分析。经初步测算,在关键研发环节中,科研人员的效率可提升10倍左右。

同时,该模型支持全景研发方案智能规划,依托多智能体协同与自动任务分解,可在约24小时内完成超千步骤的计算与设计模拟,相关环节效率提升可达90%以上,为农业科研提供高效的溯源、可复制的智能系统支撑。

该模型的发布为加速育种技术迭代提供自主可控、可持续演进的人工智能科研与产业化引擎,也为中国农业科学院持续深化院企合作,共同拓展大模型在农业全产业链中的深度融合应用和产业生态合作,进行了有益探索。

2035年我国蓝碳吸收有望接近5亿吨二氧化碳当量

本报讯(记者廖洋 通讯员左伟)近日,联合国“海洋十年”海洋生态保护修复成果对接会在青岛举行。会上,《中国蓝碳蓝皮书2025》(以下简称蓝皮书)正式发布。蓝皮书由中国海洋大学海洋碳中和中心牵头,联合国内外30余家单位、近70名专家学者共同编撰,旨在为全球气候治理提供“中国智慧”和“海洋方案”。

蓝皮书系统梳理了国内外蓝碳发展态势,对我国蓝碳现状、问题与未来发展等进行剖析,其中新增“蓝碳定价”“全球视角下蓝碳与可持续发展”“海洋藻类”“海洋生态保护修复”等热点专题,体现了多学科交叉融合的研究优势。

数据显示,10多年来,我国蓝碳生态系统吸收二氧化碳呈显

著增长趋势,2023年达3.96亿吨,较2010年增长了约32%。预测未来将继续呈增长态势,到2035年有望接近5亿吨二氧化碳当量,我国也有望成为全球蓝碳贡献核心国。

中国海洋大学未来海洋学院院长、海洋碳中和中心主任李建平表示:“蓝碳是实现碳中和的重要途径,具有固碳量大、效率高、储存时间长等特点。蓝皮书旨在推动蓝碳科学与政策、产业、金融深度融合,助力我国‘双碳’目标实现。”

蓝皮书还指出,我国在红树林修复、贝藻养殖碳汇、海洋地质封存等领域具有显著优势和巨大潜力。未来有望通过国际碳市场机制,推动蓝碳信用交易国际化。

按图索技

油菜精量联合直播机可一次完成多道工序

本报讯(记者李思辉 通讯员廖宜涛)9月20日,油菜无人化种植暨耕播机械化技术与装备观摩演示会在湖北省襄阳市襄州区无人化试验示范农场举行。

观摩会现场演示了华中农业大学团队研发的油菜无人化种植技术与系统,包括在湖北省内外多个农机企业合作实现产业化推广应用的系列油菜(油麦兼用)精量联合直播机、在国家油菜产业技术体系和国家“高性能播种关键部件及智能播种机创制”重点研发计划等项目支持下的系列油菜耕播技术和新装备、各类油菜精量联合播种机共计18台套。

现场演示的多个合作农机企业批量生产销售的油菜精量联合直播机,涵盖

高中低端不同规格,适合水田、旱地、平原、丘陵等不同作业条件,适配大、中、小不同动力,均可一次性完成油菜耕种的灭茬、旋耕、开畦沟、播深仿形、精量播种、精量施肥、覆土与镇压等多道工序。

专家介绍,现场展示的正负压组合式油菜单粒排种器单粒播播合格率达98%,开发的气送式排种器可实现油菜、小麦、水稻等多作物兼用排种,应用的智能电驱排种系统具备雷达测速、播量调控、随速播播、播种机状态识别等多项功能,均处于国际领先或先进水平。

■观摩会现场。 华中农业大学供图



肝脏衰竭也能“开外挂”治疗

■本报记者 朱汉斌 通讯员 张梓潼

对于进入肝衰竭期的患者,能否让他们在等待移植手术时多“撑”一会儿,以平稳状态迎来救命移植,就像打游戏时“开外挂”一样?能否让“死亡”50分钟的离体猪大脑“复活”,为心脏骤停急救等研究提供全新模式?

9月20日,在广州召开的2025生命科学大会上,2024—2025年度器官医学十大进展正式发布,为上述问题提供了答案。

“体外肝”为危重患者带来生机

会上,由广东省器官医学与技术学会会长、中山大学附属第一医院器官移植中心主任何晓顺团队开展的“建立肝肾等器官隔离治疗技术实现物理学上精准治疗与保护”项目,获得了高度评价。何晓顺通过分享一个典型案例,介绍了这项技术是如何实现的。

今年3月,何晓顺团队遇到一个紧急且极具挑战性的病例。患者陈先生(化名)因慢急性肝衰竭生命垂危,好不容易得到移植机会,却又突发肺部感染,不符合手术安全标准,无法立即进行肝移植。此

时,陈先生的肝功能已完全丧失,随时可能因多器官衰竭而死亡。

关键时刻,一个契机出现了。另一名血型相同、即将接受肝移植手术的多囊肝患者,其原本的肝脏虽因多囊病变极度肿大,但肝功能接近正常,具备良好的代谢和解毒能力。经过深入研究与周密评估,团队创新性地提出了“多米诺-体外肝支持治疗”方案。

“体外肝”技术,是将不宜移植但功能良好的疾病肝脏或废弃供肝,在体外进行养护后,通过管路连接至肝衰竭患者的循环系统,利用这个“外挂肝脏”提供全面的肝功能替代治疗,帮助患者度过肝衰竭危险期,为后续成功实施肝移植创造条件。“多米诺”则是指利用前一位接受肝移植患者所切除的肝脏,为下一位患者提供必要的肝功能支持,以此类推,如同多米诺骨牌一般,连续为多位患者提供肝脏支持,实现共同受益。

手术当天,团队先将将被替换下来的多囊肝转移到体外肝支持系统,并对其乳酸代谢、胆汁生成等多项关键肝功能参数进行严密监控。确认多囊肝功能基本正常

后,医疗团队立即将其与陈先生的血液循环系统进行管路连接。

经过长达10小时45分钟的体外肝治疗,陈先生的胆红素水平显著下降,肺部感染也得到有效控制,精神状态、食欲、睡眠及体能均明显改善,接受肝移植手术的条件逐渐成熟。

最终,陈先生顺利接受了肝移植手术。术后两周,经过医疗团队的严密监护和精心治疗,陈先生完全康复并顺利出院,重新回归正常生活。

在患者不具备肝移植条件的情况下,何晓顺团队凭借“多米诺-体外肝支持治疗”技术,成功为这位危重患者争取到了宝贵的移植窗口期,也为类似危重患者的治疗开辟了新路径。

离体猪大脑“超长待机”后复苏

在2024—2025年度器官医学十大进展中,何晓顺团队的“成功恢复心脏停跳50分钟的离体猪大脑功能,提出心-肺-肝脑复苏新策略”这一突破受到关注。将大脑与身体彻底分离,不提供任何

养分和供血支持,50分钟后再让其“复活”,这不再是科幻片里的幻想,何晓顺团队将其变成了现实。

何晓顺介绍,“离体大脑养护”设备含有人工心脏、人工肺脏等部件,并创新性地采用血液恒温灌注技术养护一个活的猪肝脏。在此基础上,将离体猪大脑接入,为猪脑提供新鲜、有氧、代谢稳定的血液循环。

在离断猪脑且不进行任何复苏操作50分钟后,接入该设备,离体猪脑的大脑神经显著减轻,神经细胞活力和细胞显微结构得到明显改善,并恢复了可维持的脑电活动。

这一技术基于“无缺血器官维护系统”。该系统由何晓顺带领团队于2017年全球首次成功研发,实现了器官移植从“冷移植”到“热移植”的技术迭代。何晓顺表示,如果说“无缺血器官维护平台”开启了器官移植的“2.0时代”,那么此次研究的成功为未来心脏骤停的急救提供了全新模式,甚至可应用到临床医生外科技能培训、疾病机制研究和器官药物等多个领域,预示着未来医学的无限可能。

从2017年全球首例“无缺血肝移植”到如今的“体外肝支持”,何晓顺认为,器官医学是极具生命力的科学理念。“我们希望未来能有更多临床医生加入研究,整合不同学科的专业知识和临床资源,逐步在不同学科、不同疾病中展开尝试,突破更多‘不可能’。”