

仅重 1 克的显微镜,却能“看清”小鼠半个大脑

■本报记者 陈彬

在复杂的自然环境中,大脑是如何调控生物体行为的?这既是神经科学最基础的问题之一,也是理解智能、发展脑机接口的重要基础。

要回答它并不是一件容易的事。科学家首先要做的是在动物自由运动和社交时以单细胞级别的分辨率,记录大范围脑区中的大量神经元活动情况。这要求相关观测设备体积必须足够小、重量足够轻,并且不再被线缆束缚,否则便无法让携带它的动物自由活动;同时,它的视场还要足够大、分辨率足够高,否则在单细胞分辨率下,就难以同时记录大范围脑区中更多数量的神经元。

多年来,这对“矛盾”一直制约着神经科学研究。10 月 19 日,中国工程院院士、清华大学自动化系教授戴琼海团队联合解放军总医院教授戴朴团队在《自然》发文,宣布成功研发出全球首个百万像素无线介观显微镜 Airstope,这一“矛盾”才终于被化解。

最小、最轻的介观显微镜

所谓“介观”,是介于“宏观”与“微观”之间的物质层次。介观显微镜既能覆盖大范围组织,又能分辨其中单个细胞,可以从系统学角度研究大量细胞如何相互作用,进而产生组织和器官的整体功能。

此前,受限于显微镜体积与观测范围之间的矛盾,要想看清大范围皮层,就需要固定动物头部或连接线缆,而动物一旦被固定或拖着线缆,行为便不再自然。有些头戴式介观显微镜也能在动物自由活动时进行观察,但只能看到直径不足 1 毫米的脑区范围。

相比之下,只有 1 克重的 Airstope 十分轻便,完全可以装在小鼠头顶而不对其活动造成明显影响。这一重量也使其成为迄今全球最小、最轻的介观显微镜。

虽然小巧,但 Airstope 的功能却很强大。据戴琼海团队成员、清华大学生命科学学院助理教授张元龙介绍,Airstope 可以在 6 毫米的视场内,以单细胞分辨率记录小鼠大脑皮层的神经活动,单只小鼠可同时记录 8500 多个神经元,是现有无线头戴式神经记录设备的 25 倍。“要知道,小鼠的大脑只有大概 1 立方厘米大小,6 毫米的视场相当于可以



佩戴 Airstope 的小鼠。

清华大学供图

同时观察小鼠一半大脑皮层的细胞活动情况。”他说。

1 克、无线、6 毫米视场、单细胞分辨率,戴琼海团队是如何将这些“元素”集合在一起的?

张元龙告诉《中国科学报》,在此前的研究中,团队已取得一些相关的技术研发及工程应用成果。在此基础上,他们对介观显微镜涉及的光学、照明、电子和无线传输等部分进行了系统性协同设计。

“比如在光学领域,我们凭借前期取得的成果,仅用 4 个非球面镜片就实现了在 6 毫米视场内的单细胞分辨率(4~6 微米)观测;在数据传输上,以往的无线系统均未突破百万像素,但 Airstope 采用 200 万像素图像传感器,并在传感器端将数据容量压缩为原来的 1/25,从而使百万像素级图像得以无线传输。”张元龙说。

用模型预测小鼠“胜败”

摆脱了线缆的约束,动物便可以自由活动。但要研究动物间的某些互动行为,仅观察一只动物显然不够。于是,如何同时分析多只动物的行为成为新的挑战。

为此,团队开发出一套多动物分割与追踪工具,在新的实验场景中无需重新标注训练即可使用。在 5 只小鼠的追踪任务中,该工具追踪多目标的准确度相较于常用方法有了大幅提高,其处理速度更是达到专家人工标注的 2400 倍。有了设备和算法的加持,戴琼海团

队搭建了一个 5 平方米的自然化栖息地,小鼠在其中可以进行攀爬、上下台阶、进洞、穿越不同地貌区域等 16 类行为。于是,他们开展了一系列关于小鼠行为与脑神经元活动分析的实验,并获得了很有意思的发现。

“比如,我们发现小鼠的大脑皮层活动会随着所处的地貌区域产生系统性变化。此时,我们利用深度学习模型,仅凭皮层的神经活动就能判断小鼠身处哪个区域。即便去掉视觉皮层神经元,解码性能也没有下降。”张元龙说,这表明小鼠获得的区域信息并非单纯来自视觉。

再比如,社会等级是动物社会的重要组织形式。在用于测定社会等级的经典“钻管测试”中,两只小鼠在狭窄管道中相遇、推挤,直到一方退出。而借助 Airstope,研究人员能同时记录对峙双方的数千个皮层神经元。

观测结果显示,早在两只小鼠对峙之前,优势个体与从属个体的神经群体活动就已经有所区别。“因此,我们构建的模型能根据两只小鼠的皮层活动,提前预测哪只小鼠将获胜,准确率达到 81.8%。”张元龙说,即便剔除与推挤、对抗、后退相关的神经元,预测准确率也没有下降。

“在自然、自由、群体的行为中观察大规模神经活动是理解大脑如何产生智能的重要一步。”戴琼海表示,“Airstope 为介观生物学研究提供了重要工具,与团队前期研制的介观活体三维显微仪器 RUSH3D 形成互补,将推动光学脑机接口实现更精准的神经探测,并广泛应用于免疫、肿

瘤等领域。”

帮他们做以前“不敢想”的研究

在取得技术突破的同时,戴琼海团队也在推动相关技术走向产业化,支撑我国科学家使用自主科学仪器实现原创突破。

“目前,我们在学校孵化的高端科研仪器公司正在进行产业转化,Airstope 也已具备小规模量产的条件。”张元龙表示,国际市场上,即便是一台小视场的设备也需要上百万元,“我们的设备不仅可以提供更大的观测视场,而且分辨率更高、体积更小,成本也可以更低”。

Airstope 的研发成功对于其他科学研究和应用领域也有重要价值。比如在脑机接口领域,理解大脑如何编码是相关设备研发的核心难题之一。“脑机接口的本质就是把神经活动与四肢运动关联在一起。如今,借助 Airstope,我们可以获取这两方面的数据,仅凭神经活动就能解码动物在做什么。”张元龙说,这些规律未来有望用于人体脑机接口的研发。

值得一提的是,除神经元的观测外,Airstope 也能用于肿瘤细胞等其他细胞活动的观测。

“由于我们的设备足够轻便,无需固定动物,研究人员能在自然环境下对同一只小鼠进行连续数月的追踪观察,并完整记录其体内肿瘤细胞生长发育的全过程。”张元龙说,此前进行肿瘤研究时,研究人员只能每隔一段时间进行一次小鼠肿瘤组织的切片,但现在却可以在同一只小鼠身上追踪几个月,既减少动物使用量,也排除个体差异带来的干扰。

此外,随着人工智能越来越多地介入药物设计,如何高通量验证候选药物是否有效成为新瓶颈。Airstope 能助力突破这一瓶颈。

“我们还计划集成光遗传模块,实现神经信号的‘读写’闭环,为精神疾病研究提供新工具。”张元龙说,“总之,我们希望能用这一设备帮助科学家去做他们以前想都不敢想的研究。”

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-11293-x>

“我们”

“我们”

科学家首次实现多模式真纠缠声子态的制备与跨节点传输

本报讯(记者刁雯蕙)中国科学院院士、深圳国际量子研究院院长俞大鹏与该院研究员谭电团队、联合德国斯图加特大学教授 Eric Lutz 等研究人员,首次在可扩展的二维混合量子芯片实验平台上实现了多方真纠缠声子态的制备与跨节点传输。近日,相关研究成果发表于《科学》。

声子是固体晶格振动的准粒子,它能够像光子一样充当量子信息的载体。高阶体声学波机械振子(HBAR)具有多模式、长寿命、可芯片集成等优点,是下一代量子信息处理平台的关键器件。此前,量子声学已实现机械振动模式的量子态制备、操控和存储,但如何在机

械振子系统中实现大规模、多方真纠缠以及量子节点分发仍是关键难题。

在该研究中,团队利用 HBAR 的天然多模特性,对声学模式频率分布和量子比特与声子的耦合进行精确设计,实现了一个超导量子比特能够与多个机械模式发生强耦合,实现了多模式声子量子态的制备和操控,并将其扩展到两模式、四模式和六模式的真纠缠声子态。

团队还将两个 HBAR 机械振子与超导量子比特、可调量子耦合器集成在同一混合量子芯片中,实现了不同 HBAR 节点间的量子信息交换,在两个独立 HBAR 机械振子之间完成了多模式真纠缠态传输,这使多模式声子纠

缠从单振子内部局域资源,走向不同量子节点间分发,为未来构建机械量子网络奠定实验基础。

与传统依赖三维微波腔体架构不同,该研究将 HBAR、超导量子比特和可调耦合器集成在二维芯片上,打破了传统方法存在的空间与工程限制,为构建多 HBAR、多量子比特的声子量子处理器提供了新的硬件架构。团队进一步提出可扩展的多 HBAR 混合声子量子处理架构,即将多个超导量子比特分别耦合至独立的 HBAR 谐振器,并通过可控耦合器实现量子比特之间的相互作用,形成可模块化扩展的多节点声子量子网络。由于单个 HBAR 谐振器

可以支持大量声学模式,该架构有望将多模式声子纠缠资源进一步扩展到更大规模。

随着声子模式增加,多模式量子态精确表征成为关键挑战。为此,研究团队发展了量子比特复用多模式声子态层析方法。他们仅用两个超导量子比特,完成了多模式声子纠缠态的量子态的层析,实现了目前量子声学平台中最大规模的多模式声子态实验表征,为未来更大规模声子量子系统的验证和控制提供了重要技术手段。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1126/science.ach4273>

“对于非美国公民来说,形势相当严峻。”美国布朗大学神经科学家 Theresa Desrochers 说,“这只会加剧一种‘这里不欢迎你’的整体氛围。”

正在接受调查的机构包括哈佛大学、斯坦福大学、亚利桑那州立大学、耶鲁大学、布朗大学、麻省理工学院、加州理工学院、加州大学戴维斯分校和匹兹堡大学。

目前,除哈佛大学外,其余大学均作出回应。许多高校表示已收到要求提供信息的通知,并强调其严格遵守有关签证的所有规章制度。布朗大学副校长 Brian Clark 表示:“布朗大学的国际学者、学生和员工为校园作出重要贡献,包括开展推动美国创新、竞争力和经济活力的教学与研究工

作。”

J-1 签证允许美国境外人员在教育或文化交流项目中进行短期学习或工作,期满后需返回原籍国。国际博士

“我们”

“我们”

“我们”

“我们”

“我们”

“我们”

2026 国际科学理事会中期会员大会暨北京科学对话开幕

本报讯(记者高雅丽 见习记者金梦婷)10 月 19 日,2026 国际科学理事会中期会员大会暨北京科学对话在京开幕。大会以“复杂世界中的科学——科学共创美好未来”为主题,围绕“科学作为全球公共产品”“负责任的人工智能应对全球挑战”“科学、社会与信任”三大议题开展对话交流,来自 88 个国家和地区的千余名中外科学界代表参会。大会由国际科学理事会主办,中国科学技术协会、中国科学院、中国社会科学院、北京市人民政府共同举办。

开幕式上,5 项重大科学成果和创新平台成果以视频形式集中发布,包括《全球可持续发展数据产品(2025)》《科技考古与文化遗产保护重大成果》《科技期刊世界影响力指数(WJCI)报告》《中国基础研究发展报告(2026)》《北京国际科技组织发展与未来展望》。这一系列成果涵盖可持续发展、科技考古与文化遗产保护、科技期刊、基础研究和国际科技组织发展等领域。

会上,《北京科学宣言》正式发布。国际科学理事会会员事务副主席、中国科学院院士朱永官介绍,宣

言强调开放、包容、合作和相互尊重是科学进步的重要基础,呼吁国际社会共同维护开放、包容与合作的全球科学体系,以负责任的人工智能应对全球挑战,以信任和参与加强科学与社会的联系,共同塑造科学未来,建设公平包容、服务人类与地球、为社会所信任、为政策提供支撑的全球科学体系。

国际科学理事会是全球唯一同时涵盖自然科学与社会科学综合性国际科学组织,其科学评估与政策咨询直接影响联合国及全球宏观政策和规则制定。中期会员大会在两次全体大会之间召开,是国际科学界凝聚共识、聚焦未来科学发展共同议程的重要机制。

今年国际科学理事会中期会员大会首次在北京举行。作为中国科学技术协会 2026 年“开放合作月”旗舰活动,大会分两阶段进行。第一阶段为北京科学对话,时间为 10 月 19 日至 21 日,包括开幕式暨主论坛、10 场卫星会议、专题论坛和闭幕式;第二阶段为国际科学理事会中期会员会议,时间为 10 月 22 日至 23 日,参会人员以国际科学理事会会员为主。

看封面

封存千年的碳再度开始循环



全球约 1/3 的海岸线位于北极地区,其中大片区域数千年来一直处于冰冻状态,属于永久冻土地带。最新一期《自然-地球科学》封面显示,随着海平面上升和气温升高,这些海岸线正遭受日益严重的侵蚀,大量此前被封冻的有机碳随之释放,重新进入活跃的碳循环。(侯慧静)

图片来源:
《自然-地球科学》

美国政府调查博士后签证,引发科学家担忧



本报讯 据《自然》报道,美国近日针对 9 所大学聘用国际研究人员的情况,引发了该国学术界的担忧。此次调查的重点是这些大学使用 J-1 签证的情况,该签证是来自其他国家的博士后研究人员主要使用的签证类型。10 多年来,美国每年签发的 J-1 签证数量一直维持在 30 万左右,仅在新冠疫情期间出现小幅下滑。

美国副总统万斯称,此次调查的目的是减少“签证欺诈”,“他们过度使用了这些签证,并且其薪资较低,使得美国研究生和研究人员的工资也被压低了,这种做法必须停止。”

批评者指出,此次调查的理由站不住脚,国际博士后研究人员在美国实验室中发挥着至关重要的作用,而这一调查加剧了国际科学家的不安情绪。

“对于非美国公民来说,形势相当严峻。”美国布朗大学神经科学家 Theresa Desrochers 说,“这只会加剧一种‘这里不欢迎你’的整体氛围。”

正在接受调查的机构包括哈佛大学、斯坦福大学、亚利桑那州立大学、耶鲁大学、布朗大学、麻省理工学院、加州理工学院、加州大学戴维斯分校和匹兹堡大学。

目前,除哈佛大学外,其余大学均作出回应。许多高校表示已收到要求提供信息的通知,并强调其严格遵守有关签证的所有规章制度。布朗大学副校长 Brian Clark 表示:“布朗大学的国际学者、学生和员工为校园作出重要贡献,包括开展推动美国创新、竞争力和经济活力的教学与研究工

作。”

J-1 签证允许美国境外人员在教育或文化交流项目中进行短期学习或工作,期满后需返回原籍国。国际博士

新型近红外荧光探针可高选择性识别 AD 关键早期致病蛋白

本报讯(记者江庆龄)中国科学院院士、华东理工大学教授朱为宏与该校教授郭志前团队,提出“位点有序工程”染料化学工程策略,创制近红外荧光探针 N-QM-KLVFF,实现对阿尔茨海默病(AD)关键早期致病物种淀粉样蛋白 β ($A\beta$) 单体的高选择性识别,为 AD 早期筛查、疾病分期和疗效监测提供分子工具,并与其他与蛋白质错误折叠相关疾病的探针开发提供新思路。近日,相关研究成果发表于《德国应用化学》。

具有神经毒性的可溶性 $A\beta$ 单体

与寡聚体是 AD 早期病变的关键物种。单体阶段, $A\beta$ 的 KLVFF 序列富含暴露的氢键位点,随聚集推进,位点被逐步包裹于 β -片层内部。然而,以疏黄素 T 为代表的传统荧光探针只能识别高度有序的成熟纤维,对早期 $A\beta$ 物种几乎“视而不见”。

研究团队基于长期深耕的喹啉腈 QMFluor 染料平台,结合 KLVFF 序列氢键位点的“可及性”,建立“位点有序工程”设计策略。具体而言,研究团队通过理性调控 KLVFF 识别肽与 QMFluor 荧光团之间的连接位点,实现对探

针空间构象与自组装行为的精准操控。反应过程中,连接于最优位点的 N-QM-KLVFF 形成松散无定形聚集体,KLVFF 识别域充分暴露于溶剂界面,可与 $A\beta$ 单体经氢键结合并通过组装点亮荧光。未优化的连接位点则会导致分子探针自身紧密堆积、掩蔽识别域,丧失对 $A\beta$ 单体的识别能力。

N-QM-KLVFF 对 $A\beta_{1-40}$ 单体的荧光增强倍数约达 20 倍,随着蛋白聚集形成 β -片层纤维、氢键位点被包裹,其荧光响应显著减弱。研究团队进一步追踪了 $A\beta$ 在 72 小时内的聚集

(文乐乐)