

## “小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

## 【自然 - 物理学】

## 新方法在里德伯模拟器中预测拓扑纠缠

瑞士洛桑联邦理工学院的 Giuseppe Carleo 团队成功在里德伯模拟器中预测了拓扑纠缠。相关研究成果近日发表于《自然 - 物理学》。

预测拓扑物质的动力学性质是一项具有挑战性的任务,这不仅体现在理论和实验设置上,更体现在计算层面上。数值通常被局限于研究简化的模型和晶格。

研究团队提出了一种在里德伯原子模拟器上动态制备量子自旋液体的时间相关分析方法。结合时分蒙特卡罗技术,研究人员可以在整个动态准备过程中高保真地表示系统的状态。他们不仅能够匹配里德伯原子哈密顿量的物理正确形式,而且能够在超出当前实验能力的系统尺寸上匹配相关的晶格拓扑结构。

这种方法能够获得拓扑纠缠等全局量,实现了对系统拓扑特性的洞察。研究结果证实了动态制备过程状态的拓扑性质,加深了研究人员对拓扑纠缠动力学的理解。

研究表明,虽然模拟状态与实验观察一致,显示出类似于共振价键状态的局部特性,但无论过程的绝热程度如何,它都缺乏后者的特征拓扑纠缠。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41567-025-02944-3>

## 【自然 - 遗传学】

## 从单细胞分辨率数据中破译状态依赖免疫特征

日本大阪大学的 Yukinori Okada 团队从单细胞分辨率的多层组学数据中破译状态依赖免疫特征。相关研究成果近日发表于《自然 - 遗传学》。

目前的分子定量性状态位目录大多为 bulk 分辨率,且多以欧洲人为主。于是,研究团队基于 235 名日本人 150 万个外周血单个核细胞的单细胞转录组学、宿主遗传学、血浆蛋白质组学和肠道宏基因组学,构建了一个免疫细胞图谱。研究人员阐明了细胞型和环境特异型人类白细胞抗原 (HLA) 与 T 细胞和 B 细胞受体库的全基因组关联。

利用动态遗传调控的共定位,研究人员可以更好地理解全基因组关联信号。差异基因和蛋白质表达,描述了多基因风险的细胞型和环境特异性影响,包括马赛克染色体改变、Y 染色体丢失和线粒体 DNA 异质性在内的各种体细胞突变被投射到单细胞分辨率。

研究团队确定了体细胞突变细胞特有的免疫特征。总的来说,免疫细胞以细胞状态依赖的方式实现动态调节,具有多组学特征。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41588-025-02266-3>

## 【细胞】

## 硬脑膜肥大细胞调节脑脊液动力学

美国圣路易斯华盛顿大学的 Jonathan Kipnis 团队报道了肥大细胞对硬脑膜界面和脑脊液动力学的调节。相关研究近日发表于《细胞》。

脑脊液流动对脑内稳态至关重要,其破坏与神经退行性和神经炎症性疾病有关。蛛网膜袖带出口 (ACE) 点是桥静脉周围蛛网膜的解剖不连续点,是脑脊液 - 硬脑膜交换的关键部位。

研究团队发现,硬脑膜肥大细胞调节了脑脊液在 ACE 点的动态。脱颗粒后,肥大细胞释放组胺,诱导桥静脉的血管扩张,减少对脑脊液引流至关重要的血管周围空间。

在细菌性脑膜炎期间,病原体通过 ACE 点进入大脑。然而,肥大细胞的激活可重定向脑脊液流动,招募中性粒细胞,并限制病原体入侵。缺乏硬脑膜肥大细胞的小鼠免疫反应受损,产生更高的脑细菌负荷。这些发现表明,硬脑膜肥大细胞在调节脑脊液流动和脑膜免疫中起核心作用。靶向肥大细胞或其介质可能增强中枢神经系统的清除和防御机制,为脑感染提供了潜在的治疗途径。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.06.046>

## 【自然 - 化学】

## 无序界面水促进电催化碳 - 碳耦合

美国宾夕法尼亚大学的 Anthony Shoji Hall 团队揭示了无序界面水能够促进电催化碳 - 碳耦合。相关研究近日发表于《自然 - 化学》。

二氧化碳和一氧化碳转化为能量密集的多碳产物,可帮助缓解气候变化,但由于竞争途径的存在,这种引导选择性仍具有挑战性。

研究团队发现,调整以高浓度高氯酸钠电解质为主体的界面水结构,可以促进一氧化碳还原为乙烯。将高氯酸钠浓度从 0.01 摩尔提升至 10 摩尔后,一氧化碳还原反应速率提升 18 倍,多碳产物的法拉第效率达 91%。

结合表面增强拉曼光谱的温度依赖性一氧化碳还原,该研究揭示了界面水结构的变化对应于一氧化碳还原为乙烯表现的活化焓和熵的变化。在较高的离子强度下,活化焓的增加与氢键的破坏和非氢键水模式的出现有关,这表明无序的界面水有助于一氧化碳还原为乙烯。这些发现为控制界面水的结构,促进一氧化碳还原成多碳产物提供了有价值的见解。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41557-025-01859-z>

## 科学家首次绘制亚纳米级细胞糖膜图谱

本报道 人体内的细胞都被一层名为糖萼的糖膜包裹着。它帮助细胞彼此交流,并与免疫系统进行通信。这一过程能够对抗病毒,但在某些情况下也会使癌症扩散。此前没有任何成像工具能够详细显示糖萼中约 1 纳米大小的微小糖分子。7 月 28 日发表于《自然 - 纳米技术》的一篇文章中,研究人员揭示了排列在人类微小血管壁上的活细胞表面的糖分子。他们找到了一种方法,使用现有的光学显微镜就能以仅 0.9 纳米的分辨率对这些糖分子进行成像,而这种分辨率一度被认为是光学显微镜无法达到的。

英国伦敦大学学院化学家 Sabrina Simoncelli 表示,这是首次在细胞内实现亚纳米级光学分辨率成像,这些成果“具有开创性”。

“我刚开始读博士时,人们能得到的单糖分子最佳分辨率图像还是模糊的。”论文作者之一、德国马克斯·普朗克光科学研究所的生理

物理学家 Karim Almahayni 说,“接下来,我们要去了解细胞表面的这些糖分子在健康和患病期间会如何变化。我们想通过‘看脸’来判断一个细胞。”

光学显微镜通常会小于 200 纳米的结构变得模糊。尽管超分辨率成像工具已经实现了 10-20 纳米的分辨率,但仍没有达到区分糖萼中相距不到 10 纳米的单糖分子所需的精度。同时,糖分子很难被可见标记物所标记,因此无法在显微镜下显现出来。“它们不能进行遗传改造,也没有抗体可以靶向它们。”Simoncelli 解释道。

为了应对这些挑战,Almahayni 和同事结合两种诺奖技术,一种是超分辨率荧光显微镜技术,另一种则是点击化学技术。他们利用一种化学标签,将锁定的 DNA 链与目标糖分子连接起来,随后添加了带有荧光标记的

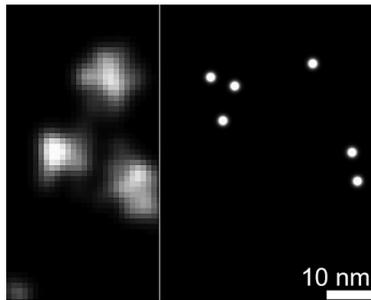
匹配 DNA 链,使每个糖分子上的标签反复闪烁。研究人员借鉴天文学家在模糊望远镜图像中追踪恒星的方法,运用统计算法精确定位每次闪光的中心,并以极高的精度计算糖分子在细胞表面的位置。最终,他们能够区分相距仅 0.9 纳米的糖分子,这个距离比许多蛋白质的直径还要小。

“这是我们第一次能够看到细胞表面的糖分子,并获取空间分布信息。”Almahayni 说,“这开辟了许多新路径,因为未来我们可以同时标记蛋白质和糖分子,从而研究它们在健康和患病期间是如何变化的。”

“这篇论文确实引入了一种新方法。”Simoncelli 表示,该方法可用于研究蛋白质等其他细胞成分。

(王体瑶)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41565-025-01966-5>

这种新的 0.9 纳米分辨率成像技术能更好区分人类细胞膜上的分子。  
图片来源: Luciano A. Masullo

## ■ 科学此刻 ■

## 虚拟病人也能激活免疫细胞

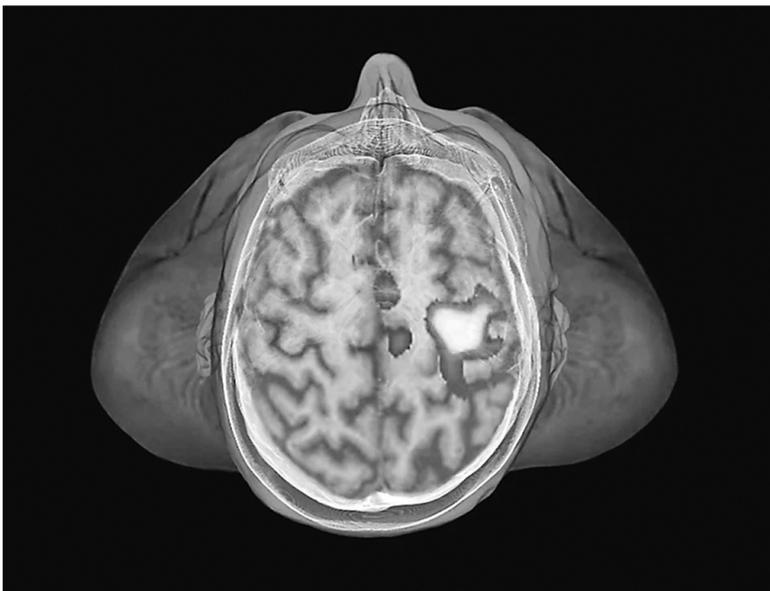
一项 7 月 28 日发表于《自然 - 神经科学》的研究表明,只要看到病人,大脑就会激活免疫细胞,模仿身体对真实感染的反应。

这项研究不仅采用了脑部扫描和血液检测技术,还借助了游戏设备。参与研究的志愿者戴上虚拟现实显示器,观看有皮疹、咳嗽或其他疾病症状的虚拟人,从而避免了真正接触病原体。

论文共同通讯作者、瑞士洛桑大学医院的 Andrea Serino 表示,这些结果说明了大脑具有“预测正在发生的事情并选择适当反应”的能力。

免疫系统通常会迅速对感染作出反应,但它并不总是能够及时预防严重疾病,因此让身体意识到感染的可能性并作出先发制人的反应是有用的。

为研究人类预测病原体攻击的能力,Serino 和同事让健康志愿者戴上美国谷歌公司的 Oculus Rift 头盔,并向他们展示了不断靠近的虚拟人,不过后者从未“碰过”参与者。一些虚拟人显示出传染病的迹象,另一些则是



当受到感染威胁时,大脑活动可激活免疫细胞。

图片来源: Zephyr/Science Photo Library

健康的对照组。第二组志愿者没有观看虚拟人,但接种了流感疫苗,以模拟接触真实病原体的情况。

研究人员发现,传染性虚拟人像的靠近激活了与个人空间,即紧邻身体的区域相关的脑区。紧接着,大脑“突显网络”的活动激增,这是一个参与识别重要事件(如威胁)并对其作出反应的区域集合。

这种大脑活动引发了一种名为先天淋巴细胞的免疫防御系统活性的增加,后者是人体抵御入侵者的第一道防线的一部分。在被虚拟病人接近的参与者体内,这类细胞的数量要高于对照组。此外,前者体内的免疫活动与接种流感

疫苗的参与者类似。

“这项研究中的虚拟现实技术部分确实很有趣。”美国哈佛医学院的 Isaac Chiu 表示,这些结果是身体中“两个最复杂系统”协同作用的一个例子。“它们相互协调反应,因为这两个系统都与环境相结合,从而建立对病原体等潜在危险的防护。”

研究人员表示,这些发现可能有助于改进疫苗,因为虚拟现实或许能够增强疫苗所针对的免疫细胞的激活。这会改进免疫系统对疫苗的反应,从而提高疫苗效力。

(王方)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41593-025-02008-y>

## 拥有大量动物可提升森林碳储量



卷尾猴等动物可促进热带森林的种子传播。

图片来源: Carlos Grillo

本报道 一项 7 月 29 日发表于美国《国家科学院院刊》的研究表明,动物种群繁盛的森林的生长速度是其他森林的 4 倍。这项研究通过分析数千个森林地块的数据,揭示了动物生物多样性与碳储存之间的潜在关联。

美国麻省理工学院的 Evan Fricke 表示:“这表明动物生物多样性的下降会加剧气候变化,而热带森林正在失去它的自我修复能力。”虽然动物自身只能储存环境中极少量的碳,但猴子、鸟类和啮齿类动物等通过进食和排泄这样的行为,将多种多样的种子进行广泛传播,从而对生态系统的碳循环产生重要影响。Fricke 表示:“过去很难将这种行为与景观尺度的长期碳循环联系起来。”

在新的研究中,科学家分析了 3000 多个处于恢复期的热带森林地块数据。通过评估森林的片段化程度和动物活动轨迹,他们量化了各

地块的种子传播者的多样性及其活动受到的干扰。结果显示,动物活动受干扰最小的森林的生长速度是受干扰最严重森林的 4 倍;平均而言,破坏种子传播者的多样性及其活动会使碳储量减少一半,其负面影响甚至超过火灾或过度放牧等其他限制树木再生的因素。

相比之下,受干扰最少的森林的碳积累速度甚至比单一种植的人工林还要快。Fricke 强调:“由动物驱动的生态恢复机制提供了一种兼具成本效益和生物多样性保护优势的修复策略。”

此前的生态模型已预测过种子传播者的作用。美国耶鲁大学的 Oswald Schmitz 认为,该研究“深化了我们对动物关键地位的认知,这表明它们非常重要。”

(金子飞)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1073/pnas.2500951122>

## ■ 环球科技参考 ■

中国科学院西北研究院文献情报中心

## 德国部署新项目 加快新航卫卫星导航系统研发

近日,德国航空航天中心(DLR)在格赖夫斯瓦尔德大学启动大气对 R-Mode 定位系统的影响 (AIR-MoPSy) 项目,加快研发陆基无线电导航系统 R-Mode,旨在探索如何消除太空天气和大气条件对 R-Mode 系统精度的影响,这在依赖卫星导航的航运和航空领域具有重要意义。

全球导航卫星系统,如美国的 GPS,已成为航空、海运和道路交通中不可或缺的工具。然而,太阳风暴和人为干扰可能严重影响其可靠性,甚至导致严重事故。为此,DLR 自 2016 年起在波罗的海地区开始研究 R-Mode。

R-Mode 利用中波和超短波范围内现有的无线电台,通过测量船舶到各个 R 站的距离计算

地理位置。在研究过程中,DLR 团队发现,高层大气和低层电离层的大气过程,尤其是 D 层的状态,会显著影响 R-Mode 信号的传播精度。白天,D 层对长波无线电信号(如 R-Mode 信号)有不同程度的衰减和反射作用,而夜间,D 层则几乎消失,导致 R-Mode 地波信号严重衰减,从而降低导航系统的性能。这种现象在不同时间段的表现不同,增加了研究的复杂性。AIR-MoPSy 项目正是为了解决这一问题而设立的。

AIR-MoPSy 项目由德国 DLR 通信与导航研究所和太阳 - 地球物理研究所牵头,联合莱布尼茨大气物理研究所和波罗的海研究所共同开展。项目团队重点研究低电离层的物理过程,特别是 D 层对 R-Mode 信号的影响,并开发相应的模型和测量技术。通过这些研究,团队希望开发一种能够抑制夜间功率降低的方法,从而提高 R-Mode 的全天候性能。

研发人员希望通过深入研究大气和电离层对 R-Mode 信号的影响,并开发相应的模型和测量技术,显著提升 R-Mode 的精度和可靠性。这不仅将为航运业提供更安全的导航选择,还将推动相关技术在其他领域应用,为全球导航技术发展开辟新道路。

(刘文浩)

## 新研究证实橄榄石在地幔热传导中发挥重要作用

近日,《自然 - 通讯》发表文章指出,由于橄榄石的辐射导热性,只有超过 6000 万年且每年俯冲速度超过 10 厘米的海洋板块才足够的寒冷,从而将水输送至地球深部的地幔中。认识板块加热过程对于解释深部地震的发生以及在超过 600 千米的深度存在水的现象至关重要。

板块的热演化控制着俯冲动态过程以及水

## 呼吸道感染 可能增加癌症转移风险

本报道 一项研究指出,呼吸道病毒可能促使转移性乳腺癌细胞在乳腺癌小鼠模型的肺部增殖。这些发现得到了人类观察性数据的支持。该研究进一步阐释了传染病与癌症转移的关系。科学家在 7 月 30 日出版的《自然》上报告了这一研究成果。

乳腺癌是女性最常见的癌症。在初步缓解后,癌细胞可能会休眠数年,直到转移至肺等器官造成复发。病毒性呼吸道感染与癌症有关,可能会诱发转移并影响转移的过程。

新冠疫情头两年的癌症死亡率上升,使美国科罗拉多大学的 James DeGregori 和同事决定在小鼠模型中研究流感病毒和 SARS-CoV-2 感染对乳腺癌的影响。他们发现,这类感染会缩短乳腺癌细胞在肺部的休眠时间。这些细胞会在感染数日后增殖,并在两周内导致转移癌灶灶扩大。作者发现,炎症通路参与了这一影响。

作者还研究了 SARS-CoV-2 检测阳性的癌症患者的癌症相关死亡风险是否会上升。他们分析了英国生物银行和“Flatiron 健康”的数据库。生物样本库组中发现了 SARS-CoV-2 感染与死亡风险的相关性;SARS-CoV-2 检测阳性患者的癌症相关死亡率是阴性患者的 2 倍。在 Flatiron 组,SARS-CoV-2 感染则与肺部转移性疾病风险增加 40% 以上有关。

研究人员认为,这一发现揭示了呼吸道感染可能会增加癌症复发风险,并强调应采取策略应对与呼吸道病毒感染相关的转移风险。

(赵熙熙)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09332-0>

## 美环保署欲撤销 气候变化危害认定

据新华社电 美国环境保护署 7 月 29 日公布一项提案,拟撤销 2009 年发表的一项报告中的科学认定,即温室气体排放危害公众健康和福祉。该认定被视为美国政府监管温室气体排放、推动电动车发展及应对气候变化的重要法律基础。

美环保署署长李·泽尔丁在美国印第安纳州一家汽车经销商宣布了这一提案。环保署在一份声明中指出,2009 年的认定已带来逾 1 万亿美元的监管成本,如获撤销,预计每年可节省 540 亿美元。

声明称,若提案最终通过,将废除所有针对机动车及其发动机的温室气体排放标准,从而恢复消费者购车选择权,降低运输成本,并减轻家庭负担。泽尔丁表示,这项提案旨在结束美国汽车制造商和消费者 16 年来面临的政策不确定性。

2009 年美环保署发表的研究报告说,二氧化碳等 6 种温室气体对美国公众的健康和福祉构成潜在威胁。依据美国《洁净空气法》对“危害公众健康和福祉”的定义,联邦政府有理由采取行动限制温室气体排放。

美媒指出,这一提案可能引发环保组织及部分国会议员的强烈反对。批评者认为,一旦撤销该认定,不仅将废除现有针对汽车、工厂和发电厂等排放源的限制措施,也将削弱联邦政府未来应对气候变化的能力,并带来深远影响。

(谭晶晶)