

设计, JUNO 将同时面向太阳、超新星、大气与地球等多源中微子。超新星爆发时中微子会先于光子逃逸, 提前数小时发出“预警”, 为全球望远镜抢先观测争取窗口。太阳中微子也用于校验恒星能量产生机制。地球中微子还可以用于估算地幔、地壳放射性元素贡献的放射性生热功率, 帮助约束地球内部热演化模型。

当前, 国际中微子研究形成“三极格局”, JUNO 与美国 DUNE、日本 Hyper-K 实验各有侧重又相互补充。中国在这一领域的深耕, 从 2012 年大亚湾中微子实验发现第 3 种振荡模式, 到 JUNO 引领精确测量时代, 标志着从“跟跑”向“领跑”的跨越。

(综合中国科学院高能物理研究所官网、人民网、arXiv、ScienceDaily)

二次有机气溶胶在冬季重污染阶段更为突出

2025 年 8 月 28 日, 《Science》刊登中国科学院地球环境研究所黄汝锦研究员等国内外学者的综述文章, 指出中国城市大气呈现

出全球少见的“独特化学区”: 以往由直接排放主导的高颗粒污染过程, 正被二次气溶胶(尤其是二次有机气溶胶, 简称 SOA)所取代, 且这一变化在冬季重污染阶段尤为突出。文章系统梳理了中国城市 SOA 的人为源前体主导、形成机理多通道并行, 以及多污染物—多相过程共同控制的证据, 并给出未来研究与治理方向。

这一判断与近年的观测和模拟相吻合。自 2013 年大气治理加严以来, 直接排放显著下降: 31 个省会城市的 $PM_{2.5}$ 浓度普遍下降 34% 至 71%, 北京年均浓度从近 $90 \mu g/m^3$ 降至 $32 \mu g/m^3$, 堪称全球少见的减排成效, 但冬季雾霾中 SOA 的相对贡献快速上升, 以华北典型城市石家庄为例, 冬季有机组分中 SOA 占比由 2014 年的 27% 提升至 2024 年的 87%; 模型观测比对显示, 高湿条件下的液相/多相转化与区域输送, 是弥合 SOA“生成缺口”的关键机制。上述证据共同表明, 中国城市冬季的强氧化环境+高含水气溶胶, 正在放大 SOA 的生成与积累。

研究团队呼吁, 未来的治理策略必须把 $PM_{2.5}$ 与臭氧放在一起考虑, 优先削减同时推动二者生成的氮氧化物和关键 VOCs, 并识别不同季节和地区中“高产 SOA、高产臭氧”的前体物类型。同时, 大气模型也需要引入液相反应、夜间自由基

化学以及颗粒表界面反应等新机制, 以更准确地预测污染过程。

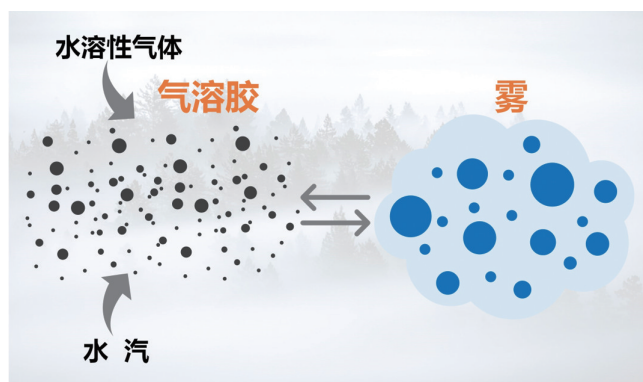
(综合《Science》《Nature》)

带电孔壁驱动离子脱水与选择透过

水处理、能源转化和生物医药等领域对高效分离膜的需求日益迫切。无论是海水淡化、电池隔膜, 还是人工离子通道, 核心都依赖于纳米孔膜对特定离子的精准筛选。科学界长期以来将这种选择性理解为几何作用: 水合离子被紧紧包裹在水分子外衣之中, 能否通过孔道主要取决于“身体尺寸”与孔径是否匹配。然而, 随着纳米孔尺度越来越小, 这一解释逐渐显得不足, 因为实际观测到的选择性规律往往无法用几何大小简单说明。

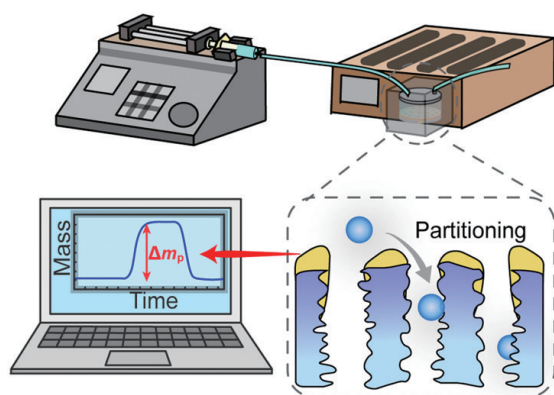
2025 年 8 月 29 日, 清华大学环境学院与中国科学院生态环境研究中心的研究团队联合以色列理工学院在《Science Advances》报道了一种全新的机制。他们发现, 当带电的纳米孔壁与水合离子相互作用时, 局部电场会强烈扰动离子周围的水分子结构, 迫使部分水分子脱离, 形成所谓的“静电驱动脱水”。在这一过程中, 离子的有效半径和能垒发生改变, 即使孔径大于水合离子的平均尺寸, 离子能否顺利通过仍然取决于电场剥离水分子的能力。这一发现意味着, 纳米膜不只是“筛子”, 更像是能主动调控的“闸门”。

研究团队结合分子动力学模拟和实验测试, 揭示了不同离子



气溶胶-雾相互作用导致二次有机气溶胶的爆发式增长

(图片来源:中国科学院大气物理研究所)



盐的分配能测试装置与实验示意(溶液流经传感器时,离子会分配进入加载在传感器上的纳米多孔膜)

(图片来源:《Science Advance》)

在带电孔道中的行为差异。结果显示,正电荷分布的孔壁更容易剥离阴离子的水合层,而阳离子则表现出完全不同的脱水阈值和能量壁垒。这种规律的发现颠覆了以往单一依赖物理空间限制的理解,为盐类分离、盐湖/卤水提质(同价离子精细分离)、新型离子筛膜、能量转换(反向电渗/蓝能)等方向提供了可工程化的设计路线——通过调控孔壁电荷极性与密度、界面水结构与水含量,即可在不牺牲通量的前提下放大选择性。

(来源:《Science Advance》)

植物演化改写古河流路径

河流蜿蜒曲折的身影,或许远不止地貌作用的结果。2025年8月28日,斯坦福大学等团队在《Science》发表研究指出,洪泛平原上的植被能够改变河流弯道的迁移方向:无植被的河流多顺流平移,而有植被的河流则更倾向横向扩展。这一发现不仅解答了早古生代河流沉积记录的争议,也改写了人们对地球乃至其他行星河流

演化的理解。

长期以来,地质学界普遍认为,植物登陆推动了地球河流从多股辫状向单股曲流的转变。但地质记录中的谜团一直困扰学者:在植物尚未演化的志留纪之前,沉积岩中几乎只见笔直下切的河流痕迹,却鲜有明

显的曲流迹象。与此矛盾的是,现代干旱地区无植被覆盖的河流,甚至火星与土卫六上的河道,也能呈现出清晰的曲流形态。这引发了一个关键问题:植物究竟是曲流河形成的必要条件,还是仅仅改变了它们的表现形式?

研究团队通过分析全球49条河流、4482个弯道的卫星影像,发现植被是决定弯道迁移角度的关键因子。统计显示,有植被的河流弯道主要向两岸横向扩展,使沉积体呈现更高的流向离散度(方差提升62%);无植被河流则多顺流平移,沉积记录与辫状河相似,容

易被误判。这意味着,古代地层中低方差的沉积物,可能并非辫状河遗迹,而是被“低估”的无植被曲流河。

这一发现具有深远意义。一方面,它为解释早古生代河流的“直线”之谜提供了答案,提示曲流可能早已广泛存在,只是其沉积特征因缺乏植被而不易保存。另一方面,该研究挑战了现有的河流数学模型,提示应将内侧点坝沉积过程与植被效应纳入考虑。此外,这一机制同样适用于行星科学,可帮助推断火星古水流或土卫六甲烷河的演化轨迹。

《Science》同期刊发的评论文章指出,这项工作将长期争论的“曲流迁移机制”引向新视角:如果植被主导了点坝沉积的方向,那么“沉积推动”(bar push)可能比“河岸拉动”(bank pull)机制更为核心。未来,地貌学、生态学与行星科学的交叉研究,有望进一步揭示河流-植被耦合如何塑造地球乃至外星世界的地貌格局。

(来源:《Science》)



植被改变河流弯道的轨迹

(图片来源:《Science》)