中国科学报

CHINA SCIENCE DAILY

总第 9040 期　2026 年 7 月 22 日　星期三　今日 4 版

中国科学院主管　中国科学报社出版

国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82

主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

听《中国科学报》　《中国科学报》官微　科学网 App　科学网官微

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

解读 123 亿年前宇宙的“加密电报”

■本报记者 张晴丹

137 亿年前，宇宙诞生于大爆炸。最初的宇宙在某个阶段充斥着大量氢原子和氦原子，这些中性原子会强烈吸收高能紫外光子，形成厚重“浓雾”遮蔽光线，致使人类难以直接观测这一遥远的宇宙阶段。

后来，在引力作用下，约在宇宙年龄 2 亿年时，第一代恒星与星系逐步形成。初生的恒星和星系释放出强劲的莱曼连续辐射光子（高能紫外光子，又称电离光子）。这些电离光子如利剑般劈开迷雾，逐步剥离中性氢原子的电子，将星系际气体转化为电离等离子体，宇宙自此终于清晰起来。

这个阶段是一场名为“宇宙再电离”的宏大相变过程，发生于宇宙年龄 2 亿到 10 亿年间，即婴幼儿至少年宇宙时期，昭示着宇宙结束“黑暗”、开启“黎明”。这一过程在宇宙年龄 10 亿年前后结束，自此至今，宇宙气体仍整体维持电离状态。

令人不解的是，在宇宙再电离阶段，电离光子是如何逃出星系的，又是谁主导了这场变革？

如今，中国科学院上海天文台（以下简称上海天文台）团队在星海中捕捉到一缕来自 123 亿年前的微光。其来源 LCEz4−M1，是目前已知最遥远的莱曼连续辐射星系，距宇宙再电离结束仅一步之遥。这份来自少年宇宙的“加密电报”正被科学家逐步解读。近日，相关研究结果发表于《天体物理学杂志快报》。

突破探索的边界

长久以来，直接探测高红移星系的莱曼连续辐射，一直是观测天文学中的一道难题。由宇宙膨胀导致的红移现象既是距离的标尺，也是时间的镜像。一个星系的红移越高，意味着它离地球越远，人类看到的也是它在宇宙早期的模样。目前，科学家对能产生莱曼连续辐射星系的探索已覆盖到近邻宇宙和宇宙正午时期，正持续向宇宙早期推进。

之前的探索记录定格在宇宙学红移 4，对应的宇宙年龄为 15.6 亿年，处于宇宙青少年时期。彼时宇宙再电离过程虽然刚结束不久，但星系际空间还有不高于 1%的中性氢，依然会强烈吸收莱曼连续辐射，使得科学家几乎无法探测更高红移的莱曼电离光子。

直到 2024 年，当时还是上海天文台博士生的朱帅儒，决定探索这片观测禁区。他将目光投向比传统搜寻范围更红的波段，去突破探索边界。“这类电离信号极易被中性气体吸收，之前国外研究者普遍认为，红移 4 以上基本就看不见了。”论文第一作者朱帅儒在接受《中国科学报》采访时回忆说。

不过，他没有轻信这些言论。利用欧洲南方天文台甚大望远镜 MUSE 仪器的公开数据，他像侦探一样筛查哈勃超深场，这片天区拥有人类积累的最深邃、最丰富的多波段观测资料。筛查结果指向了 LCEz4−M1。

然而，挑战随之而来。一个极具影响力的国外巡天团队曾基于测光数据将这个星系判定为红移仅 0.4 左右的近邻年老星系，甚至有成员在访问上海天文台时，友善地提醒研究团队小心误判。

这并未让朱帅儒气馁。“我们检查了哈勃空间望远镜（HST）和詹姆斯·韦布空间望远镜（JWST）的数据，发现公开星表中部分 HST 波段的流量测量偏低，改变了这个星系的整体能谱形状，从而使测光红移拟合倾向于低红移解。”朱帅儒说。

最终，通过 MUSE 光谱中清晰的莱曼阿尔法发射线，以及重新测量的相关波段的流量，研究团队一锤定音，确认其红移为 4.444，距离宇宙再电离结束仅约 4.3 亿年，一举刷新了此前保持多年的红移 4.0 的纪录。

该发现本身就极具戏剧性。当团队还沉浸在喜悦中时，一场始料未及的“竞速”悄然上演。

一场出乎意料的科学“竞速”

正当上海天文台团队准备将成果公之于众时，一个强大的对手也盯上了同一个星系。对方团队来自美国空间望远镜科学研究所（STScI），该机构堪称 HST 的美国国家队。

“我们将论文提前投放到 arXiv 预印本网站上后，第三天就出现了另一篇针对同一个星系的研究文章。当时我们感到十分意外，才知道针对同一个源，有很强劲的竞争对手。”论文通讯作者、上海天文台研究员郑振亚告诉《中国科学报》。

这是一场出乎意料的科学“竞速”。“虽然都是汇报同一个源，但思路不太一样。”郑振亚说，“我们专注于证明莱曼连续辐射的信号是真的，红移准确在 4.444，然后对星系性质做了仔细分析。他们更多关注光谱方面的一些细节，从谱线性质评估电离光子逃逸可能。”

《天体物理学杂志快报》的审稿过程比预期漫长。第一轮审稿意见共 6 条，涉及科学问题的讨论与补充，团队逐一修改回复。第二轮审稿意见不多，但周期却比正常情况拉得更长。朱帅儒当时正值博士毕业答辩前夕，对时间的敏感度比平时更高。“那时论文和毕业答辩都压在一起，每个节点都记得特别清楚。”好在 5 月底顺利收到论文接收通知，赶上了他毕业申请的时间窗口。

朱帅儒表示：“在红移大于 4 的宇宙中直接探测莱曼连续辐射非常困难。LCEz4−M1 的重要性不仅在于它的红移很高，也在于我们同时获得了 HST 图像和 MUSE 光谱两组独立证据，使我们能够从多个观测角度对这一候选体进行交叉验证。”

对于这类跨越大洋的学术竞速，研究人员早已习惯。郑振亚说：“天文本就是国际合作很广泛的学科，大家都在同一片天空下，研究同一片星空，有竞争很正常，但我们以后要多作出一些贡献。”

“自己的望远镜”与更远的黎明

这场风波平息后，科学的聚光灯真正打在了 LCEz4−M1 本身。它的发现为何如此重要？因为它不只是一个纪录，更是一个独特的“物理实验室”。

团队估算，该星系的莱曼连续辐射逃逸率非常高，约 70%的电离光子成功“逃逸”。朱帅儒解释道，它的发射线特别微弱。正因为逃逸率太高，没有多余的光子去驱动这些发射线的辐射。这种高逃逸天体可能是主导宇宙再电离的关键少数，只要有 3%到 5%这样的星系，就可能贡献出完成宇宙电离所需的全部光子。

（下转第 2 版）

7 月 21 日，启东中远海运海工为丹麦船东定制的 NG20000 型风电安装船“峰盛”（Wind Ace）在江苏南通正式交付启航，将投入到欧美深海风电场建设。

作为 NG20000 型系列最新成员，该船拥有超过 5600 平方米超大甲板、17600 吨有效载荷、大于 3300 吨主吊起重能力，可精准安装 20 兆瓦级以上超大型风机。4 条 120 米桩腿赋予其 70 米水深稳定作业能力。

尤为亮眼的是，该船搭载 5000 千瓦电池储能混合动力系统并预留甲醇燃料接口，每年可减排数千吨二氧化碳，堪称“海上绿色电站”。全船布设超万个信号采集点，实现“一键作业、全船联动”，以智慧化管控引领行业标杆。“峰盛”号采用独特的混合设计，可在短时间内从基础安装船切换为风机安装船，单次装载可运输安装 7 套 15 兆瓦涡轮机组或 6 座 XL 单桩，大幅提升作业效率。

图片来源：视觉中国

她在“极寒世界”里，捕捉量子计算的未来

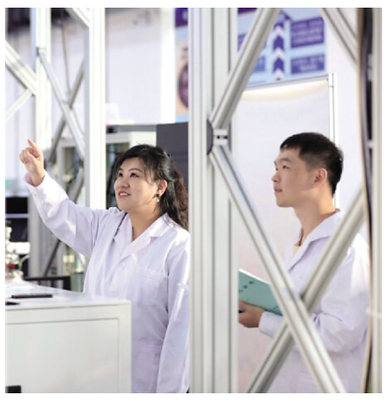
■本报记者 韩扬眉

在中国科学院物理研究所（以下简称物理所）研究员沈洁的手机和电脑软件里，置顶了一个名为“Shen group”的共享文档，一眼看上去是一张张枯燥的曲线图。数据分门别类，类别的一侧记录着更新时间——“08:21”“11:39”“20:01”“00:32”……有的一两天更新一次，有的一天更新多次。

无论在出差的火车上、开会的间隙，还是凌晨回到家中，沈洁只要没在实验室，每天必做的一件事就是点开它。这是从她的课题组、位于北京怀柔的综合极端条件实验装置实验站传来的数据，更是她开展下一步研究的基础。

沈洁从事拓扑量子计算研究。数据记录的是每一步电路优化、参数调整的过程。不管数据是否“漂亮”，总能引起她的思考：背后的物理图像是什么？实验哪个部分还能改进？在这种不断拆解与追问的过程中，她逐步接近科学的真相。而这是沈洁最享受的时刻。

不久前，沈洁获得全国五一劳动奖章。她说，科学家与每个劳动者一样，都是每天踏实地做着一些看似不起眼的“小事”，“把每件‘小事’都做好，时间久了，自然会获得重要的科学发现”。



沈洁（左）指导学生做研究。**受访者供图**

挑战自我

2019 年，在北京中关村物理所的一间会议室里，物理所怀柔研究部主任、综合极端条件实验装置首席科学家吕力开门见山地问：“怀柔需要有人建设实验站，谁愿意去？”

“我去吧。”坐在一旁的沈洁刚回国入职物理所不久，思忖了片刻说。

吕力口中怀柔要建设的，是我国重大科技基础设施——综合极端条件实验装置（以下简称装置）。彼时，装置主体建筑已经完工，需要科研人员攻关极低温、超高压、强磁场和超快光场等极端条件的关键技术，并搭建实验站。

“与延续过去的工作相比，这肯定是件有挑战性的事情。”提及选择初衷，沈洁笑言，随即话锋一转，“但也一定有广阔的发展空间，因为那里代表着‘未来’，先进的实验条件将催生世界领先的基础研究成果。”

比起安稳的道路，沈洁每一步总是选择充满挑战的方向。

2008 年，读博士时，沈洁选择了在国内还处在初级阶段的量子科技，方向是极低温量子输运与拓扑量子计算。面对实现量子计算的诸多路径，沈洁再次选择一项“从 0 到 1”的事业——构筑拓扑量子比特。其与超导、离子阱等技术路径不同，拓扑量子比特被喻为量子信息的“保险箱”，是实现容错量子计算的重要方向。

而在实现拓扑量子比特的路线中，她主动选择了器件制备复杂、测量要求高的“马约拉纳”路线。此外，她不只追求单个峰值，而且系统构建“马约拉纳岛”，以求构建更强、更稳定的拓扑量子比特。

“人无远虑，必有近忧。选择新路，在一开始肯定会感到不舒服，甚至是难受的。但年轻时如果选择安稳，就很难有发展空间。”沈洁说。

打通路径

刚到怀柔时，迎接沈洁的不仅有“未来”，还有坑坑洼洼的土路、没有路灯的夜晚、实验室里的通宵达旦，以及不方便的生活。

沈洁是极低温强磁场量子输运和调控实验站的负责人，她要带领团队搭建一个做量子实验的“超级工厂”：开展复杂的线路布局与仪器调试、将测量噪声提升至纳伏级别、建造微波频域的极低温测量线路、提高精度以精准捕捉稍纵即逝的量子信号……

搭建装置的工作相对琐碎，短时间内难出重要成果。沈洁深知，好的科学研究没有捷径。那几年，她带领团队沉下心来，专注于实验平台的搭建和工艺路线的验证。

（下转第 2 版）

科苑星光　科技铸辉煌

研究揭示地球深部硫循环区域差异与全球平衡

本报讯（记者冯丽妃）中国科学院地质与地球物理研究所研究员李继磊联合国内外合作者，通过对全球各海沟系统开展精细硫通量核算，首次系统揭示了俯冲带硫输入在区域上的强烈不均一性，同时发现全球尺度上硫输入与输出之间保持着很好的通量平衡，为理解地球深部硫循环提供了重要定量框架。近日，相关研究成果发表于美国《国家科学院院刊》。

硫是影响行星宜居性的关键元素。金星布满二氧化硫云层，火星表面遍布硫酸盐沉积物，但地球表面并未出现硫的过量堆积。学界普遍认为，地球通过板块构造作用，将岩浆火山从深部带到地表的硫再通过俯冲作用送回地幔，实现深部与表层硫的动态循环。然而，深部硫循环是否平衡，此前缺乏定量约束。

研究团队将全球俯冲体系划分为 32 个俯冲带，对每个俯冲带开展控制硫通量的关键参数精细厘定。在输入通量方面，团队基于全球 1500 余个大洋钻探钻孔数据，构建各俯冲带沉积物硫含量数据集，发现全球俯冲带沉积物平均硫浓度约为 2450 微克／克（μg/g），显著低于以往常用的 6000μg/g 参考值。同时，团队首次系统评估了不同类型俯冲带蛇纹岩化地幔的厚度差异，发现侵蚀型俯冲带平均约 3.1 公里，而增生型仅约 0.27 公里，相差一个数量级。

基于上述数据，研究计算出全球俯冲带输入地幔的总硫通量为 50±3 百万吨／年（Mt/yr），其中俯冲洋壳贡献约 71%，沉积物贡献约 22%，蛇纹岩化地幔贡献约 7%。进一步结合俯冲侵蚀、陆壳俯冲等作用，全球输入地幔的总硫通量为 57±3 Mt/yr。然而，区域差异极为显著，增生型俯冲带贡献了全球沉积物硫输入的约 75%，而侵蚀型俯冲带单个沟系的硫通量大多低一个数量级。

在输出通量方面，研究团队全面评估了从地幔返回地表的硫通量，包括洋中脊、火山弧和板内岩浆作用。其中，弧岩浆作用总硫输出为 18.4±11 Mt/yr，洋中脊体系约为 35.7±9 Mt/yr，板内岩浆贡献约 5.7±1.3 Mt/yr。

该研究启示，深部硫循环的稳态平衡可能是现代宜居地球的重要支撑，让地球避开了火星、金星那样的不宜居环境。研究为深部硫循环提供了可靠的定量框架，也为进一步探索板块构造、挥发分循环与长期气候演化之间的耦合关系奠定了基础。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1073/pnas.2611196123

科学家提出低成本光催化体系设计新策略

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张维伟团队合作，揭示了表面活性剂诱导界面微环境调控在有机纳米光催化中的关键作用机制，为设计高效、稳定的光催化体系提供了一种低成本、简便且通用的新策略。相关研究成果近日发表于《先进材料》。

有机纳米光催化剂具有分子结构可调、可见光吸收优异、激子迁移距离短及催化活性位点丰富等优势，是光催化分解水制氢领域的研究热点。然而，有机纳米光催化剂在反应过程中易发生团聚而失活，研究人员通常需要引入表面活性剂以提升其分散稳定性。但目前仍然缺乏表面活性剂对界面微环境的调控机理，及其对有机光催化剂光物理特性、界面传质过程的协同作用规律的系统研究，限制了高效、稳定纳米光催化体系的精准设计。

针对上述瓶颈，研究团队选取给体－受体（D−A）型小分子 CNP90 作为模型体系，采用纳米沉淀共组装策略，制备了经聚乙二醇（PEG）、吐温 20（T20）、吐温 80（T80）等不同表面活性剂包裹的分子纳米光催化剂。

系列测试结果表明，吐温类表面活性剂具有独特的双亲性结构，且 T20 和 T80 包裹的 CNP90 表现出显著抑制的非辐射复合、增强的电荷分离效率以及明显延长的激发态寿命。

研究团队以 T20 为例进行了进一步分析。T20 在 CNP90 界面构筑了两亲性界面微环境，其中疏水的烷基链有效保护 CNP90 的有机核心免受高极性水环境诱导的激发态非辐射失活，而亲水的聚氧乙烯链则通过调控界面氢键网络，强化了水－催化剂之间的相互作用层。

得益于这一协同微环境工程，T20/CNP90 与 T80/CNP90 的光催化制氢速率相较于 CNP90 及 PEG/CNP90 均获得大幅提升，其中 T20/CNP90 表现最优，超越了目前绝大多数已报道的有机光催化体系。此外，T20/CNP90 可通过涡流强化瞬时纳米沉淀法实现规模化制备，展现了宏量制备的潜力。同时，该共组装策略在多种光电功能分子体系中均显示出良好的普适性。

相关论文信息：

https://doi.org/10.1002/adma.73981

美国科学家私自携带生物样本入境遭起诉

寰球眼

本报讯 美国国立卫生研究院（NIH）的两名病毒学家因涉嫌非法走私无活性猴痘病毒及其他生物样本入境，面临刑事指控。该案件现已成为美国生物安全领域法律与政治争议的焦点事件。

据《自然》报道，NIH 的科学家 Vincent Munster 和 Claude Kwe 在刚果（金）完成野外研究后，于今年 1 月将涉案核心样本带回美国密歇根州底特律机场。根据刑事起诉书，美国联邦调查局（FBI）5 月 29 日完成检测，确认样本含有猴痘病毒 DNA，但所有样本均无感染活性。这类灭活样本虽无需进口许可，但依法必须向美国海关主动申报。

美国司法部提起的诉讼指出，Munster 和 Kwe 不仅未申报携带的生物样本，还向海关官员刻意隐瞒、谎报物品内容。目前两名科学家均否认所有指控。

Kwe 已于上月完成首次庭审。其辩护人 Benton Martin 表示：“依据无罪推定原则，我们将静待后续司法程序，暂不做进一步置评。”Munster 的首次庭审定于 7 月 22 日举行，其代理律师尚未作出回应。

该案是近年来针对科研人员走私生物样本追责案件的最新一例，也让二人所属的 NIH 落基山实验室及病原体进口监管机制受到更严格的审查。美国国会议员已要求对涉事实验室展开专项调查，并提出新法案，拟对走私生物制剂者判处重刑。

部分科研人员为两名涉事科学家发声，认为其行为不存在安全风险。加拿大萨斯喀彻温大学的 Angela Rasmussen 解释说，强效化学灭活是让病毒失去活性的成熟可靠的技术。“这类灭活样本即使直接接触，甚至吃下去也不会造成感染。”

其他研究者也认可灭活样本无安全隐患、跨境送检流程存在实操困难，但一致强调必须严格遵守相关法规。美国格拉德斯通研究所所长 Melanie Ott 表示：“病毒学界绝不姑息科研人员的违规行为。”

起诉书显示，入境美国时，Munster 坚决否认携带任何生物样本，声称随身物品仅为诊断试剂耗材。FBI 指出：“Munster 和 Kwe 隐瞒随身生物材料的真实属性，未携带也无法出示法定认证文件，刻意将病毒样本伪装成未使用的诊断试剂。”

依据美国进口法规，灭活猴痘病毒属于生物材料，即便用于诊断实验，也必须合规申报、出具灭活证明。Munster 曾向海关声称所需灭活证明文件存于个人笔记本电脑中，但起诉书并未证实该说法真伪。

美国乔治敦大学的 Jean-Paul Gonzalez 评价，即使样本已经灭活，乘民航随身携带样本也是严重错误。“20 年前学界或许存在此类操作，但如今早已明令禁止。”

“任何人都不得隐瞒、谎报入境生物材料。如果科学家有这种行为，不仅违法，还会严重损害整个科学界的公信力。”澳大利亚新南威尔士大学的 Raina MacIntyre 说。

研究人员表示，该案进一步损害了公众对科学界的信任，病毒学家亟须主动对接公众，证明科学界严守安全准则、坚守安全底线。病毒学家致力于攻克高危病毒难题，每天在生物安全实验室直面病毒感染风险，应深知安全开展病毒研究的准则，且始终严格遵守。

（王方）