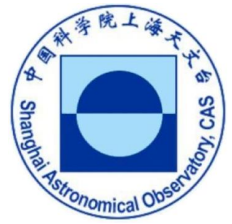




天马行空录



主办单位：中国科学院上海天文台

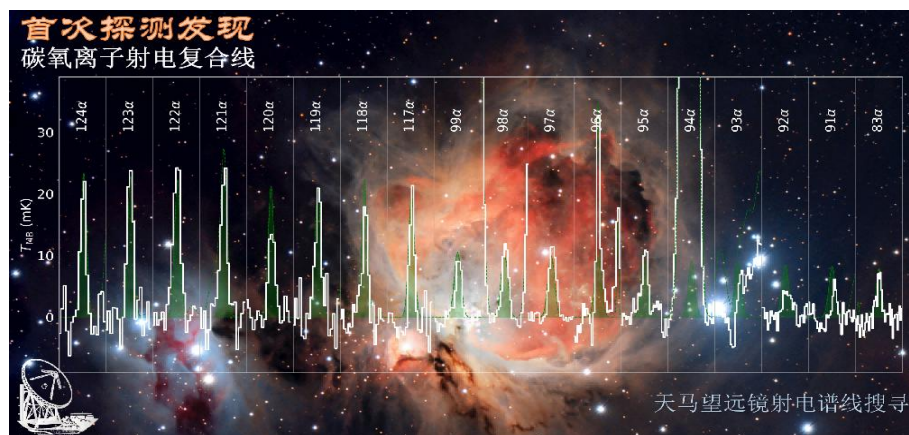
2023年3月31日

第35期

总第35期

【科学观测动态】天马望远镜首次探测到星际空间的碳氧离子射电复合线

上海天文台科研团队利用天马65米射电望远镜完成一项重要原创发现——首次探测到星际空间的碳氧离子射电复合线（见图1）。基于此发现，该团队准确测量了猎户星云M42电离区的碳氧离子丰度。该研究成果表明离子射电复合线对精确测定星际空间，特别是高度消光区的元素丰度具有重要意义。



注：天马望远镜在Orion KL中探测到的碳氧离子射电复合线（白色）。绿色区域是对离子射电复合线的模型拟合。绿色点线是考虑了所有射电复合线和分子谱线的模型拟合。背景图是心形的猎户星云（Orion nebula; M42）以及位于其左下明亮区域的Orion KL天体（图片由Shawn Nielsen摄制）。

图1 天马望远镜射电谱线搜寻

电离气体是星际空间中最广泛分布的气体成分。对电离气体不同元素发射线的观测是测量宇宙元素丰度的重要手段。虽然射电复合线示踪的是电离气体，但目前探测到的几乎所有射电复合线都源自中性原子的高阶跃迁。此前，人们仅在行星状星云中探测到两条氦离子的射电复合线，但与氦原子复合线相混叠。比氦离子更重的金属离子的射电复合线则从未被探测到过。

该团队利用天马望远镜对近邻大质量恒星形成区 Orion KL 进行了高灵敏度多波段谱线的搜寻。在证认Ka波段谱线时，一些线宽约为15千米/秒的发射线引起了研究人员的注意。这些发射线只有约10 mK的谱线强度，但在mK灵敏度的频谱上非常显著，且它们不能与任何原子射电复合线以及分子谱线相匹配。这些谱线的频率在修正掉地球运动带来的多普勒红移以后保持一致（见图2）。因此，研究人员推测这是来自星际空间的离子射电复合线的信号。随后，在Ku和Q波段光谱上也寻找了对应的谱线信号。通过对谱线进行拟合，研究人员确信他们首次探测到了碳氧离子射电复合线。由此，该团队还将该区域的碳氧二次电离离子的丰度精确测定为 $8.8E-4$ 。该工作以一篇致编辑的信（Letter to the Editor）作为当期首篇文章发表在《Astronomy & Astrophysics》上（A&A, 671, L1）。此文章第一作者是上海天文台刘训川博士，共同通讯作者是上海天文台刘铁与沈志强研究员。

这一发现革新了我们对射电复合线的定义。文章审稿人认为天马望远镜为这一新的重要发现提供了清晰明确的证据。这证明了天马望远镜在天体化学研究方面的巨大潜力。该谱线搜寻项目的后续研究也争取能够

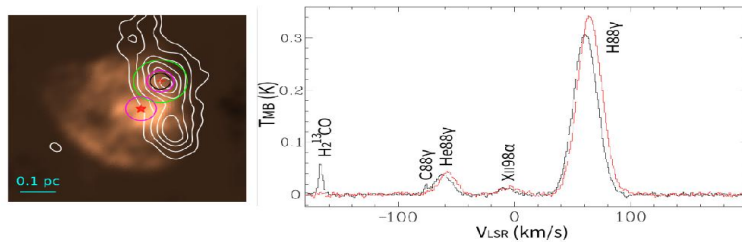
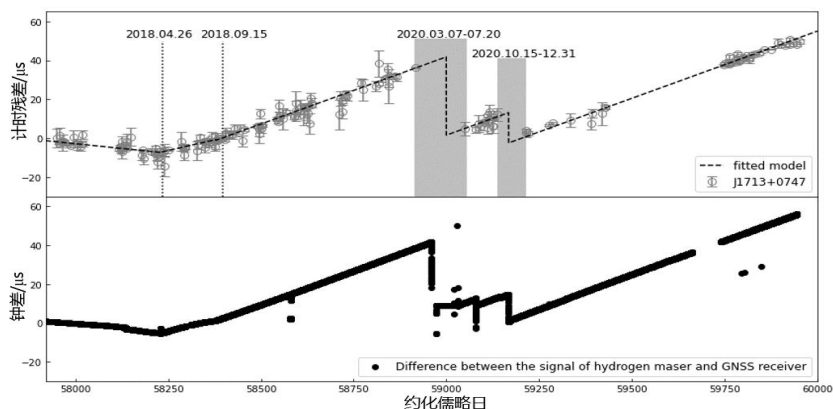


图2 左图为 Orion KL 区域，十字代表 Orion KL 分子云，红星代表 M42 电离区的中心；右图是天马望远镜观测得到的谱线，黑色是对 Orion KL 的观测，红色是对 M42 中心的观测

探测到更多新的离子射电复合线、新的分子跃迁，甚至是新分子。配合 ALMA、SKA、ngVLA 等射电干涉阵列，此研究有望打破碳氧离子的简并，探测来自不同电离区乃至高红移星系不同种类的离子射电复合线。

【科学观测动态】利用天马望远镜的毫秒脉冲星观测反演台站原子钟行为

氢原子钟作为高精度时间和频率系统的核心部件，其在射电天文观测、高精度时间计量、空间导航等领域获得广泛应用，但是其长期稳定度会受到各种环境因素的影响。而毫秒脉冲星因其超乎寻常的长期稳定自



注：上方子图中黑色虚线和灰色区域分别代表换钟的时间节点和跳变发生的时间区间。

图3 利用 PSR J1713+0747 计时残差拟合得到的钟差模型以及原始钟差数据图

转频率特性而被誉为“挂在天上的钟”。天马望远镜团队利用对毫秒脉冲星 PSR J1713+0747 的长期计时监测数据，成功反演出台站氢原子钟的历史行为（如图 3 所示），包括时钟跳跃、换钟等。通过分段拟合该毫秒脉冲星计时残差中偏离白噪声的长期趋势，团队获得了氢原子钟速。

在综合考虑上述历史行为后，团队成功获得了基于该毫秒脉冲星的时钟改正文件，并将其用于天马望远镜对其他多颗毫秒脉冲星的计时分析中，有效提高了天马望远镜对这些毫秒脉冲星开展长期计时监测可以达到的计时精度（如图 4 所示）。其中天马望远镜在 4.82 GHz 频段对毫秒脉冲星 PSR J1909-3744 总计 0.5 年的计时监测，在进行过时钟改正后的计时精度达到了 110 ns。

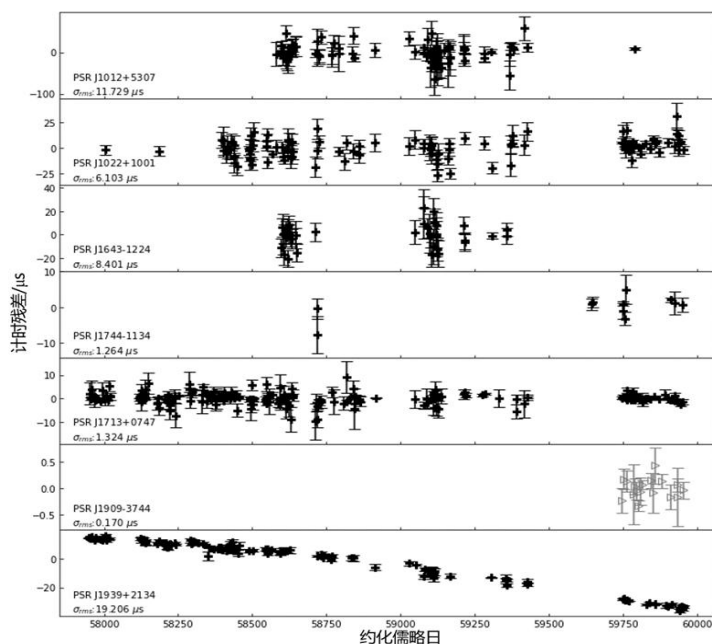


图4 七颗毫秒脉冲星钟差改正后的计时残差

【科学观测动态】天马望远镜参与中澳 VLBI 天文观测

2023 年 2 月 12 日，上海天文台天马望远镜团队、国家天文台 FAST 团队以及澳大利亚 LBA (Long Baseline Array) 团队联合利用上海天马 65 米、贵州平塘 FAST、以及澳大利亚 ATCA, Parkes 等射电望远镜进行了 L 波段的 VLBI 观测实验。观测模式采用了 8 个 BBC 频段 (每个频道带宽 16 MHz)、2 bit、双极化模式，总速率 512M bps。观测目的为探测并定位重复射电暴 20190520B 对应的持续连续谱射电源 (Persistent Radio Source, 简称 PRS)。该源为南纬 -11 度左右，尽管 FAST 的可视时间较短，但却是分别位于南北半球的中澳射电望远镜联合观测的理想目标。所有原始观测数据均传至上海天文台相关处理中心进行相关处理，目前已完成初步数据处理，探测到了很可能是 PRS 的射电源 (如图 5 所示)，更深入的工作正在进行之中。此次观测实验表明中澳 VLBI 网在探测赤道附近的微弱射电源具有巨大潜力，而天马也将在更多国际 VLBI 网中发挥重要作用。

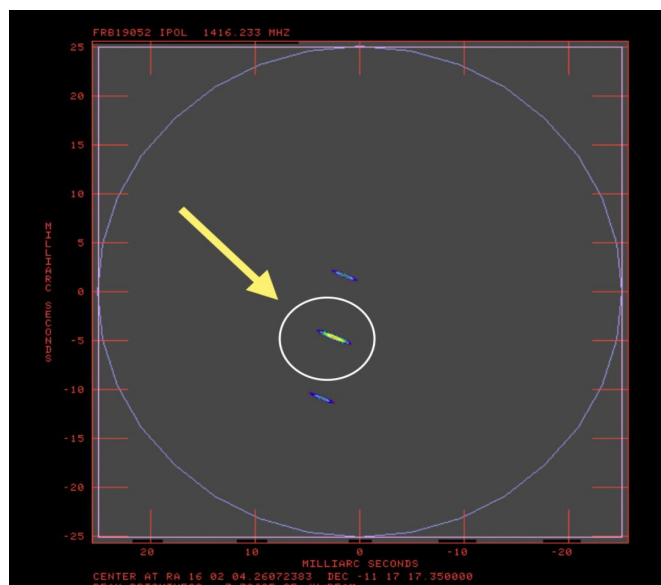


图 5 天马参与的中澳 VLBI 网观测得到的 20190520B 对应持续源图像

【技术维护与发展】利用 SiO 谱线源进行指向校准的研究进展

天马望远镜的天文观测工作频率范围覆盖了 1~50 GHz，随着观测频率的增高，对指向精度的要求也更高。目前，天马望远镜通过建立静态指向模型、动态指向实时修正等方法保障了望远镜的指向精度。这些方法都是采用流量比较强的连续谱射电源进行指向校准，但是可用的源非常有限，并且受天气影响较大。为此，项目组开发了一种利用 43 GHz SiO 谱线源进行指向校准的方法，该方法提供了具备一定环境适应能力的指向校准技术，扩充了天马望远镜在 Q 波段的指向校准源的数量。

采用 SiO 谱线进行指向校准耗时大约 120 s，过程主要包括：1) 选源阶段：项目组对 43 GHz 上的 22 个源谱线强度做了统计，优先选择信号较强的谱线源；2) 预处理阶段：对所选的谱线源进行扫描并记录数据；3) 提取观测数据中的谱线信号，并进行高斯拟合获得指向偏差；4) 评估阶段：对扫描结果进行评估并修正指向。

项目组采用 Q 波段接收机在 43 GHz 上进行了观测 (观测当天有小雨)。选用 U HER 源，首先用 On/Off 观测模式进行观测，获得谱线观测结果如图 6 所示；然后采用扫描方式测出方位、俯仰的指向修正值分别是 3.447" 和 -1.597"，如图 7 所示。通过实验表明，在 Q 波段采用 SiO 源对天线进行指向校准方法是可行的。后续项目组将对控制软件进一步升级，实现对天马望远镜的自动校准，即在观测的目标附近自动选取合适的校准源，对指向进行校准。

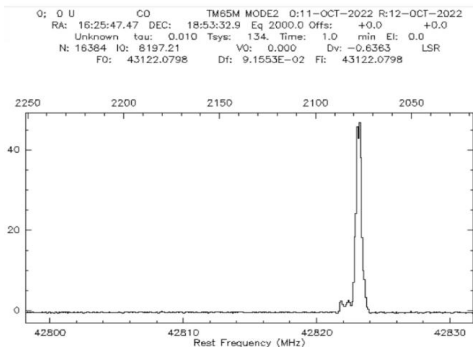


图6 U_HE 谱线观测结果

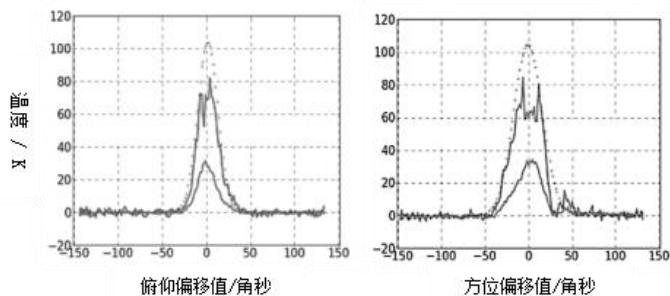


图7 指向测量结果

【技术维护与发展】全力推进西藏日喀则观测站的建设工作

2023年3月1日至9日，上海天文台副台长齐朝祥带队赴西藏日喀则，全力推进西藏日喀则观测站选址规划建设系列工作，并与日喀则市人民政府和区县各级分管领导、上海市援藏干部围绕观测站建设的相关细节进行深入交流。

上海天文台西藏日喀则观测站建设服务于国家重大需求，将在探月工程和“十四五”科教基础设施等项目中发挥重要作用。自2019年起，我台已有序开展了观测站选址，征地，站址地质、水文、气象勘探，供电线路建设等工作，得到了西藏自治区科技厅、西藏自治区日喀则市人民政府、西藏自治区日喀则市科技局、中科院上海分院、上海市援藏干部、上海市科委等的大力支持。本次我台研究团队更为深入地考察和推进站址、气象、电力及生活配套设施的布设工作，并进一步精密测量，完善规划。上海市援藏领导等相关人员也来到站址现场指导工作。期间，日喀则市人民政府还与我台共同召开了专题交流座谈会。会上，上海市第十批援藏干部人才联络组组长、日喀则市委副书记、常务副市长彭一浩着重强调建站项目对国家及地区的重要性，并表示日喀则市将全力以赴支持上海天文台西藏日喀则观测站的建设。

我台此行也与日喀则市科技局及萨迦县相关部门围绕项目征地、电力设施完善、人员安排等建设细节方面进行了深入协商。



【观测运行动态】观测情况统计

2023年1~3月天马望远镜总运行时间为1 950 h，其中单天线观测1 277 h、VLBI 观测501 h、各项测试137 h及天线维修保养35 h。

【简讯】为吸引更多天文学家参与天文望远镜的科学运行，利用天马望远镜的观测数据开展前沿科学与技术研究，上海天文台面向国内研究单位于2021年10月部署了“甲醇及其它分子新脉泽跃迁观测研究”等6个培育项目。由于受疫情等影响，该批次培育项目未能按原计划完成研究任务，**现决定该项目延期一年**（延期至2023年10月）。

中国科学院上海天文台

[网址] <http://shao.ac.cn/>

[地址] 上海市徐汇区南丹路80号

[邮政编码] 200030

编辑：何雯婷 王彩虹

审核：刘庆会

签发：沈志强