

中法合作高能宇宙线和宇宙中微子探 测望远镜 TREND 投入运行

作为目前国内工作在最低频率（频率 50—200MHz）的大型射电望远镜阵列，21CMA 利用其独特的技术优势和地理位置，在主攻首要科学目标“宇宙第一缕曙光探测”的同时，探索在低频射电波段观测宇宙射线继而捕获宇宙 τ 中微子的可能性，近期建成了国内首个低频射电高能宇宙射线和中微子探测望远镜 TREND (Tianshan Radio Experiment for Neutrino Detection)。TREND 在 2010 年成功探测到大量宇宙射线事例，重建了宇宙射线径迹，并经安置在 21CMA 基地的闪烁体粒子探测器予以证实，首批观测结果近期发表在《天体粒子物理》(Astroparticle Physics) 上。这是世界上少有的利用非高能探测器手段成功捕获宇宙射线的实验，同时，TREND 是国内第一台以低频无线电方式探测宇宙 τ 中微子的望远镜，开辟了研究宇宙射线和宇宙 τ 中微子的一种崭新的、经济的和有效的新途径。

长期以来，人们研究高能宇宙射线都是借助于探测器手段（观测切伦科夫光或荧光），为了确定宇宙射线的能量和方位，需要在高海拔地区大面积的布设探测器（如西藏的羊八井），费用高且维护困难，探索新的宇宙射线探测技术一直是科学家的愿望。早在上个世纪六十年代人们就意识到，宇宙射线进入地球时会发生大气簇射，其次级粒子的衰变会产生正负电子对，当这些电子以近乎光速运动时，由于地球磁场所导致的同步辐射将产生微弱的电磁辐射，辐射能量落在 20—100MHz 的低频附近，表现为该波段一个纳秒级无线电脉冲。所以，只要能够实现高时间分辨率的低频无线电观测并识别各种干扰信号，就有可能实现宇宙射线的无线电探测。这是因为所有的方法都是通过探测宇宙射线的次级效应来重建原初宇宙射线特性。

虽然低频无线电技术已经非常成熟，但直到近些年，随着高速数字化技术（ADC）和计算机技术的迅猛发展，才使得人们有可能真正有效实现宇宙射线的无线电探测和事例重建。位于德国的 LOFAR/LOPES、荷兰的 LOFAR/LORA 和法国的 CODALEMA 是近年间专门为实现宇宙射线的低频无线电探测所建立的几大实验设施，均成功验证了此技术方法的可靠性和有效性。

和已经存在的专用宇宙射线低频无线电探测设备 CODALEMA、LOPES 和 LORA 实验相比，21CMA 有其无法代替的特殊地位和优势：（1）21CMA 由 10287 架天线组成，基线 10 公里，规模远比其它设备大，可以提供更准确的时间分辨率，从而提供高精度的宇宙射线方向定位；（2）21CMA 位于海拔 2700 米的天山深处，方圆几十公里被海拔 3000 米以上坚实岩石组成的天山山脉环绕，仅南方山脉就构成大于 2 万立方公里的天然靶体，为中微子提供了有效的作用截面。所以，21CMA 除了被用作宇宙射线探测器外，将是十分理想的宇宙 τ 中微子探测器。也就是说，21CMA 具备探测宇宙射线和宇宙 τ 中微子的双重功能。

τ 中微子是中微子家族中最晚发现的一个成员，十年前才在加速器上被捕获，而人们至今未能在宇宙中看到 τ 中微子！由于其很小的相互作用截面，人们必须建立足够大的靶体才有可能观测到 τ 中微子的作用。此外，即使 τ 中微子和岩石作用，其次级粒子寿命很短，只有那些刚好逃逸出山体的 τ 轻子衰变后的次级粒子（如电子）才能被观测到。和利用低频射电手段观测宇宙射线的原理相同，这些 τ 中微子的次级粒子 τ 轻子衰变所产生电子的同步辐射将给人们探测宇宙中 τ 中微子提供极佳的机会。特别是科学家不会担心无法区分 τ 中微子和宇宙射线：凡是来自天空的就是宇宙射线，而来自山体方向的肯定就是中微子！

能否在 21CMA 首先实现宇宙射线的探测将是后续能否实施 τ 中微子观测的前提。2008 年，一个由中国和法国六个研究机构约 20 名科研人员组成的研究小组成立，特别包括了中科院高能物理研究所长期从事宇宙射线实验的专家和法国专门从事 CODALEMA 实验的专家，项目依托 21CMA 基地，中方学术带头人是“宇宙第一缕曙光探测”项目首席科学家武向平研究员，法方学术带头人是中法粒子物理联合实验室 (FCPPL) 法方主任 Martineau-Huynh 研究员和 Saugrin 博士，他们也都是国家天文台聘用的外籍科学家。经过两国科研人员两年间几十次现场实验，完善了数据接收和采集系统，并多次使用人工方式产生干扰源，检验事例重建的可靠性。2010 年初，高能物理研究所的合作者又在 21CMA 基地安置了间隔约 200 米的 3 台闪烁体探测器，用于进一步的事例交叉认证。

2010 年间，21CMA 基地把第二套接收系统开辟为低频宇宙射线和中微子探测专用，另外架设了 50 套“蝴蝶”天线，接收波段覆盖 50—100MHz，时间分辨率 5 纳秒，在测试的一个月里就发现了多个有效事例。TREND 实验初期结果（28 个完全确认的事例）在 *Astroparticle Physics* 发表 (arXiv:1007.4359)。虽然首篇论文报道的是宇宙射线实验结果，但其深远的意义在于，TREND 将成为天山深处的宇宙 τ 中微子探测器或中微子望远镜，如果未来把 21CMA 天线用作中微子望远镜，则规模将是空前的。至此，我们已经拥有了第一部可能以低频射电方式探测宇宙中微子的望远镜。

TREND 实验是“宇宙第一缕曙光探测”的子课题，得到了国家科技部 973 项目、国家基金委海外青年科学家基金和中国科学院海外青年科学家计划的支持。国内主要参加单位是国家天文台、高能物理研究所和中科院研究生院，法国主要参加单位是巴黎六大、南特大学和法国国家科学研究中心。在实验过程中，高能物理所所长陈和生院士、国家天文台副台长郝晋新和欧洲核子研究中心 CERN 国际合作部主任 Pauss 教授等亲自到 21CMA 基地慰问参加实验的中法两国科学家。

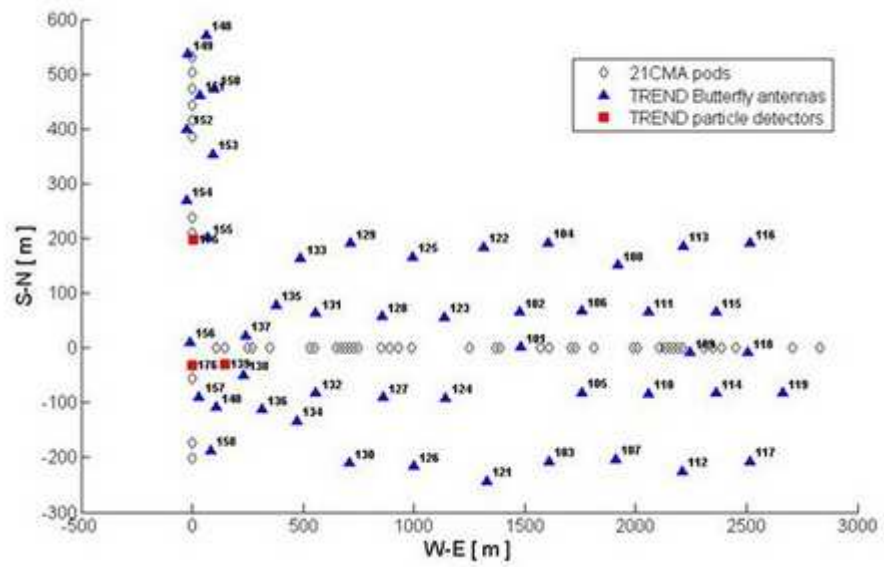
TREND 实验中方学术带头人是中法联合“起源”实验室 LIA 的中方主任，法方学术带头人是中法粒子物理实验室 FCPPL 的法方主任。TREND 实验的成功是两个联合实验室合作的典范，将为推动中法天体物理和粒子物理交叉学科的合作和发展起到十分积极的作用。



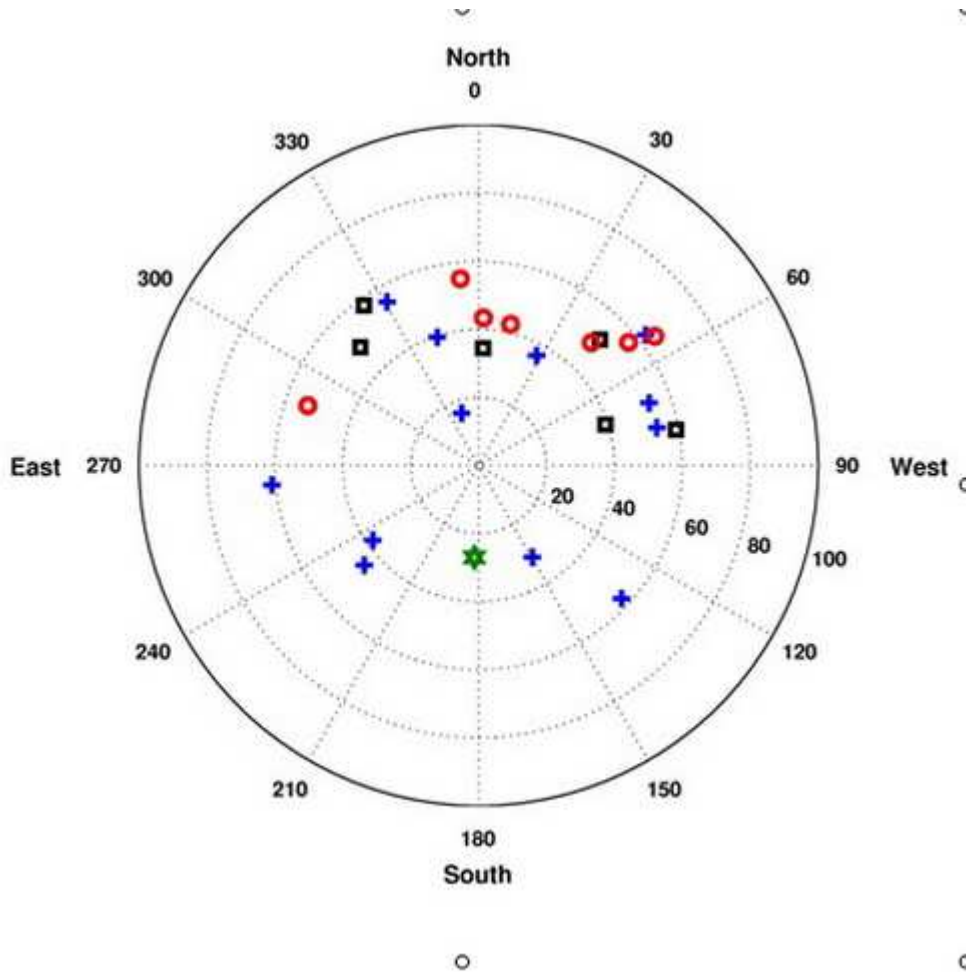
21CMA 的部分东—西天线阵列（3km）



安置在 21CMA 阵列里的闪烁体探测器



TREND “蝴蝶” 天线（三角形）围绕 21CMA 的分布图



TREND 初期实验发现的宇宙射线事例天空方位图