

望宇问天的“超级望远镜”

四川稻城,在青藏高原最大的古冰体遗迹——海子山,海拔4410米的高处,有一片遍布巨大漂砾的荒原。高海拔宇宙线观测站(LHAASO,“拉索”)的观测基地就坐落在这里。这是世界上海拔最高、规模最大、灵敏度最强的超高能伽马射线天文台,被称为“超级望远镜”。

“拉索”具有前所未有的伽马射线探测灵敏度,将伽马天文的研究带入了人类从未观测过的新波段,开启了“超高能伽马射线天文学”观测时代。”

探测灵敏度、能谱覆盖范围、成分识别精确度国际领先

“拉索”由测控基地和观测基地组成。测控基地位于稻城县城。观测基地所在的海子山,没有“拉索”之前,这里是渺无人烟的“无人区”。观测基地占地面积约1.36平方公里,相当于190个足球场大小。入冬以来,海子山上连续多日天气晴好。触目所及,观测基地就像一枚外圆内方的巨大“铜钱”。“铜钱”的“外圆”部分,一个个巨大的“土堆”排列整齐,“土堆”之间散落一个个覆盖绿色罩布的“盒子”。“内方”部分,是一个庞大的方形“大棚”,银色的房顶在阳光下格外醒目。大棚外,一台台蓝色的“大箱子”在一侧列队摆开,仰望天空。

中国科学院高能物理研究所研究员、高海拔宇宙线观测站项目首席科学家曹臻介绍,“土堆”是缪子探测器,每个占地36平方米,下面都埋有直径6.8米、高1.2米的钢筋混凝土罐体,内置装有超纯净水的高反射率水袋。1188个缪子探测器总有效面积达42000平方米。“绿盒子”是电磁粒子探测器,每个占地面积约1平方米,共有5216个。它们共同构成地面簇射粒子探测器阵列。

多种先进设备首次大规模应用

进入“大棚”,在水面上对探测器单元和100个电子学机箱进行巡检,需要划船进行。

“水切伦科夫探测器阵列外围长300米、宽260米,划船巡检一圈,需要好几个小时。”曹臻对记者说,它的面积相当于2.5个“水立方”,比美国同类探测器大4倍左右。它的水深约4.5米至5米,共储存有35万吨纯净水,相当于190个标准泳池的用水量。规模大,能量覆盖范围就广,灵敏度就高。

水切伦科夫探测器阵列的外墙密不透光,内部一片漆黑。三个水池共划分为3120个5米长、5米宽的探测器单元,每个探测器单元都有一个晶莹剔透的“大灯泡”。

可别小看这些“大灯泡”。宇宙线产生的次级粒子进入水池里的纯净水时,会发出切伦科夫光。曹臻说,这种光非常微弱,要收集它很不容易。正是通过大规模高灵敏度的“大灯泡”,才能捕捉到它。切伦科夫光转换为电信号后,科研人员就可以进行测量,分析其光强和到达时间,研究宇宙线信息。

这些“大灯泡”是20英寸光电倍增管,也是世界上尺寸最大的光电倍增管。

“在修建一号水池时,用的还是国产的10英寸光电倍增管,20英寸的价格昂贵。后来,中科院高能所与北方夜视公司联合研发

“大棚”是水切伦科夫探测器阵列,由三个覆有房顶的大水池呈“品”字形排列构成,占地面积78000平方米。

“大箱子”则是广角切伦科夫望远镜,共有18台,构成广角切伦科夫望远镜阵列。

三大探测器阵列,都是世界最大规模。

宇宙线是来自地球以外广袤空间的微观粒子。这些肉眼看不见的“宇宙信使”,携带着宇宙起源、天体演化、太阳活动及地球空间环境等重要科学信息,是人类探索宇宙及其演化的重要途径。

自宇宙线发现以来,相关探索已诞生数枚诺贝尔奖章。

“但是,宇宙线的起源在哪,为什么它们有这么高能量的粒子,是怎么加速的?至今未知。”曹臻说,“拉索”正是为破解宇宙线起源这一重大世纪难题而建。

宇宙无限,“信使”有痕。如同“陨石”,宇宙线进入大气后,会与空气发生剧烈的相互作用,产生次级粒子。次级粒子继续与空气作用,形成级联反应,产生类似阵雨的空气簇射。除了产生微观次级粒子,簇射过程中还会产生从紫外到可见波段的光子信号。

出我国具有完全自主知识产权的20英寸光电倍增管。”曹臻自豪地说,这实现了技术上的突破,打破了国际上单一供应商垄断的局面,“拉索”2/3的面积也用上了这种先进的设备,提升了探测器的能力。

如今,水切伦科夫探测器阵列的水池中,共装有2200多个完全国产化的20英寸光电倍增管,实现了国际上20英寸光电倍增管在宇宙线实验领域里的首次大规模成功应用,其探测的能量范围更广、效率更高,可以“看”到更加遥远的宇宙深处发生的事件。

除了20英寸光电倍增管,“拉索”项目还应用了多项我国自主研发的技术和设备。

比如高精度多节点远距离时钟分配与同步系统。

这个系统有个可爱的名称——“小白兔”。其对时精度为世界同类技术最高,达0.2纳秒,能使我们把“宇宙信使”的方向确定到0.3°的范围内。

“‘拉索’测量‘阵雨’落下来的方向、落在不同地方的‘雨滴’时间来重建整场‘阵雨’。‘雨滴’飞落的速度是光速,到达不同探测器的时间差也就是纳秒量级。”曹臻说,清华大学的技术团队,通过开源的技术发展,将世界同类技术从1纳秒的精度水平提高到了0.1纳秒的精度水平。

不只是精度的提高。曹臻说:“装有这一系统的设备,曾经

“‘阵雨’倾盆,为探索宇宙线,我们要用各种各样的容器,比如‘土堆’下的罐子、‘大棚’中的水池,还有‘大箱子’,去收集‘雨滴’。”曹臻介绍,“拉索”就像一个大型“集雨”装置。

电磁粒子探测器主要用于采样、探测空气簇射中的电子、伽马射线成分,缪子探测器主要用于探测空气簇射中的缪子成分,水切伦科夫探测器主要用于全覆盖式测量空气簇射中的伽马射线和电子成分,广角切伦科夫望远镜则用于测量空气簇射中产生的切伦科夫辐射。

“拉索”正是通过测量空气簇射过程,来获得原初宇宙线粒子的方向、种类和能量等信息,从而开展伽马天文观测、宇宙线成分与能谱精确测量、暗物质探索等科学研究。

“这几种探测器阵列的组合,能够实现精确的大范围多参数测量,对空气里面宇宙线级联的反应过程进行完整重建。”曹臻说,在超高能伽马射线探测灵敏度、甚高能伽马射线巡天普查灵敏度、宇宙线能谱覆盖范围和宇宙线成分识别的精确度方面,“拉索”均达国际领先水平。

只应用于实验室。经过我国的技术改进变得皮实了,可以用在气候条件恶劣的野外。现在,我们在外面放置了500个这样的设备,可覆盖整个阵列所有探测器,共6000多个点。”

再比如硅光电管技术。

“拉索”在世界上首次大面积采用硅光电管取代传统的光电倍增管,应用于野外的广角切伦科夫望远镜。

“18台广角切伦科夫望远镜,共用了近两万个指甲盖般大小的硅光电管芯片。一个个小芯片组合起来之后,形成一个高像素的‘照相机’,能实现非常精细的观测。”曹臻说,以前用普通光电倍增管做的“照相机”,只能在没有月亮的夜晚观测,而现在满月的夜晚也能正常观测了,有效观测时间大大增加。

装置简介:

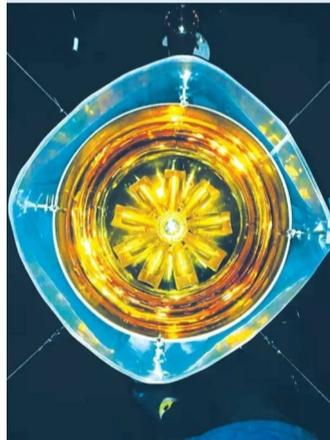
高海拔宇宙线观测站(LHAASO,“拉索”)由我国自主提出并设计、建造,是以宇宙线观测研究为核心的国家重大科技基础设施。其核心科学目标是探索超高能宇宙线起源,并开展相关的高能辐射、天体演化、暗物质分布等基础研究。它具有前所未有的伽马射线探测灵敏度,将伽马天文的研究带入了人类从未观测过的新波段,开启了“超高能伽马射线天文学”观测时代。



科研人员正在水切伦科夫探测器阵列内部巡检。



电磁粒子探测器团队在现场进行探测器定位工作。



▲水切伦科夫探测器阵列内部安装的20英寸光电倍增管。

▼位于海拔4410米高原的高海拔宇宙线观测站(LHAASO)。

建设期间屡出重大成果 不断打破观测纪录

北京时间10月9日21点17分,高海拔宇宙线观测站、高能爆发探索者和慧眼卫星同时探测到迄今最亮的伽马射线暴。

在这次观测中,“拉索”将伽马射线暴光子最高能量纪录提升了近20倍,在国际上首次打开了10TeV(万亿电子伏特)波段的伽马射线暴观测窗口。它与高能爆发探索者和慧眼卫星一起,发现这次比以往观测到的最亮伽马射线亮了10倍以上。

这些观测结果打破了多项伽马射线暴观测纪录,对于揭示伽马射线暴的爆发机制具有重要价值。

伽马射线暴是宇宙中最剧烈的天体爆发现象,短至几毫秒,长达数小时,释放的能量超过太阳一生辐射能量的总和。

曹臻说,国际上不光关注到我们能够观测到爆发,还关注到我们拥有世界上最大规模的缪子探测器,拥有目前最强大的粒子鉴别能力,在伽马射线暴最高能段的探测上具有超高灵敏度。

本次伽马射线暴的成功探测,是“拉索”又一重大成果。实际上,“拉索”尚处建设期时,就屡出重大成果。

“拉索”的主体工程于2017年开始建设,2019年4月完成四分之一规模的建设,并投入科学运行,2021年7月全部建设完成。其间都是边建设边运行。

在试运行期间,“拉索”已取得突破性的重大科学成果。2021年,在银河系内发现首批“拍(拍=千万亿)电子伏加速器”,并观测到最高能量光子,开启了“超高能伽马射线天文学”时代。精确测定了标准烛光——“蟹状星云”的超高能段亮度,挑战高能天体物理中电子加速的标准模型……

曹臻说:“能够边建设边运行,首先与探测器阵列的特点有关。它是分散的阵列式的布局,不像‘天眼’那样,需要整个组装完备才能够运行。我们在建设‘拉索’的时候,就是根据它分散的特点,划分成片来建设。这样,已建成的可以先投入运行。在运行中,能及时发现、及时抓住观测机会,更快出成果。”

“我们还将走向国际,参与南部广域伽马射线天文台的酝酿工作。”曹臻说,通过国际合作,帮助世界各地的科学家探索宇宙线的起源,进一步了解银河系。

据《中国纪检监察报》

