

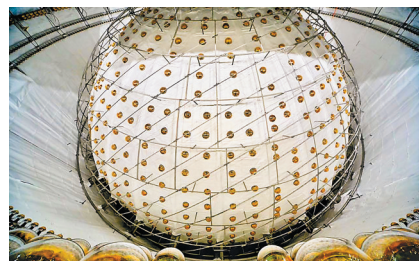
地下700米捕捉“幽灵粒子”

我国开启中微子研究新篇章

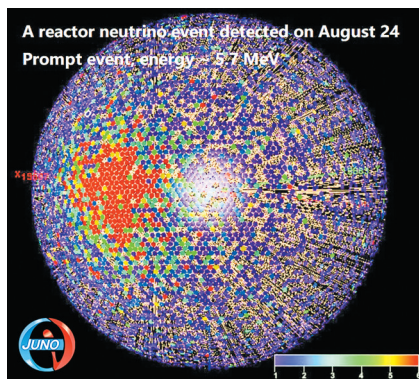
地下700米,广东江门的一处静谧山体深处,一个直径超35米的有机玻璃球正静静捕捉来自宇宙的“幽灵粒子”——中微子。
8月26日,江门中微子实验(JUNO)正式运行取数。这座历时十余年建设的重大科学设施,将着手解决粒子物理学领域未来十年内的重大问题之一:中微子质量排序。



中心探测器内部的有机玻璃球及光电倍增管。



尚未灌水时的中心探测器。



8月24日探测到的一个反应堆中微子事例示意图。

超大规模超高精度

中微子是构成物质世界的基本粒子之一,也是宇宙中最古老、数量最多的粒子,从宇宙大爆炸起就弥散在宇宙中,无处不在却又“神出鬼没”,几乎不与任何物质发生反应,导致人们不仅看不到,就连探测也十分不易。

直到1956年,人类才首次在核反应堆捕捉到中微子的踪迹。从那时起,中微子就成为物理学研究的重要课题,但仍有诸多未解之谜。

中微子就像宇宙留给人类的一道谜题。早在2003年,我国便论证设计了第一代中微子实验装置——大亚湾中微子实验。

为了深入探索中微子的奥秘,2015年江门中微子实验项目正式开工建设。该科学装置以测量中微子质量顺序为首要科学目标,并同步进行多项重大前沿交叉研究。

中国科学院院士、江门中微子实验项目经理王贻芳介绍:“中微子的穿透力极强。建在地下700米的江门中微子实验探测器,既可以有效屏蔽宇宙线和外界其他干扰,又不会妨碍捕获中微子。通过江门中微子实验这一大科学装置来认识、研究中微子,对于粒子物理、天体物理、宇宙学等基础科学领域具有深远意义。”

江门中微子实验探测器不仅要解答中微子质量排序问题,还将以更高精度测量中微子振荡参数,并涉足超新星、地球中微子、太阳中微子等研究。

王贻芳表示,这是国际上首次运行这样一个超大规模和超高精度的中微子专用大科学装置,“将使我们能够回答关于物质和宇宙本质的基本问题”。

地下700米的坚守

在广东江门开平市打石山地下700米的江门中微子实验室,一群科研人员在默默地坚守。

江门中微子实验是目前世界上最大、最灵敏的中微子探测项目,其核心装置是一个深埋地下的巨大球形探测器。从地面入口乘坐缆车,大约15分钟后,便可见到这个位于地下700米的探测器。缆车是科研人员每天上下的“班车”。

江门中微子实验的探测器核心是一个装载2万吨液体闪烁体的有机玻璃球,外壁镶嵌着数万只光电倍增管,一旦有中微子与之发生反应,就会发出微弱的光信号——这些信号将被放大、记录、分析,如同在深海中倾听宇宙的低语。

建设如此高精度的探测器,每一步都是挑战。江门中微子实验总工程师马骁妍介绍,项目团队在45天内完成6万多吨超纯

水的灌注,将内外有机玻璃球的液位差控制到厘米量级,流量偏差不得超过0.5%,有力保障了探测器主体结构的安全稳定。

江门中微子实验由中国科学院高能物理研究所牵头,合作组包括来自17个国家和地区的约700名研究人员。从看不见摸不着的“幽灵粒子”,到一步步揭开神秘面纱,江门中微子实验是通向未知宇宙的一扇新窗口。

按计划,江门中微子实验设计使用寿命可达30年,后期可升级改造为无中微子双贝塔衰变实验,将探测中微子绝对质量,检验中微子是否为马约拉纳粒子,从而解决粒子物理、天体物理和宇宙学的前沿交叉热点难题。

重大国际合作项目

作为中国科学院高能所主导的重大国际合作项目,江门中微子实验成员涵盖来自17个国家和地区的74个科研机构的700名研究人员。

马骁妍指出,建设江门中微子实验不仅需要新的想法和技术,还需要多年的精心规划、测试和坚持,以及满足材料纯度、稳定性和安全性等严格要求。中外数百名工程师和技术人员的团队协作,使江门中微子实验这个最初大胆的设计变成一个功能齐全的探测器,如今已准备好为中微子世界打开一扇新的窗口。

江门中微子实验由中国科学院高能所于2008年提出构想,2013年得到中国科学院战略性先导科技专项(A类)、广东省人民政府的支持;2015年启动隧道和地下实验室建设;2021年12月完成实验室建设并开始探测器在地下实验室的安装建设;2024年12月探测器主体建设完成并开始灌注超纯水与液体闪烁体。

灌装过程中尤为关键的是,超纯水与液体闪烁体的超高洁净度、透明度和极低放射性本底等特殊要求全部得到满足。同时,项目团队完成探测器的调试优化,确保探测器在灌注完成后立刻进入正式运行取数阶段。

江门中微子实验的核心探测器为有效质量达2万吨的液体闪烁体探测器(中心探测器),安置于地下实验大厅44米深的水池中央。

其直径41.1米的不锈钢网壳作为主支撑结构,承载了包括35.4米直径的有机玻璃球、2万吨液体闪烁体、2万只20英寸光电倍增管、2.5万只3英寸光电倍增管,以及前端电子学、电缆、防磁线圈和隔光板等众多关键部件。

遍布探测器内壁的光电倍增管协同工作,探测中微子与液闪相互作用产生的闪烁光,并将其转换为电信号输出。

据新华社电