

### 江门中微子实验：

# 地下700米的神秘粒子“捕手”

中微子，是构成物质世界的基本粒子之一，也是宇宙中最常见的粒子。其最大的特点是与物质的相互作用极为微弱，因此具有极强的穿透力，可以轻松穿过人体、地面、地球甚至是太阳。同时它的质量非常轻，以接近光速运动。围绕中微子，有大量谜团尚未解开，包括它的质量大小和起源、质量顺序、是否造成宇宙中物质与反物质的不对称等。中微子研究有望发现超出标准模型的新物理，对研究宇宙演化、恒星形成、超新星爆发机制等有重要意义。自1956年首次被证实存在以来，中微子领域研究已经获得4次诺贝尔奖。但“捕捉”中微子，很难！如何拥有更大、更先进的探测器从而获取更精确的数据，是中微子研究的重点。

## 1 从大亚湾到江门

2003年，中国科学院高能物理研究所科研人员提出设想——利用我国大亚湾核反应堆产生的大量中微子，来寻找中微子的第三种振荡模式。中微子可以在飞行中从一种类型转变成另一种类型，通常称为中微子振荡。这证明了中微子有质量。

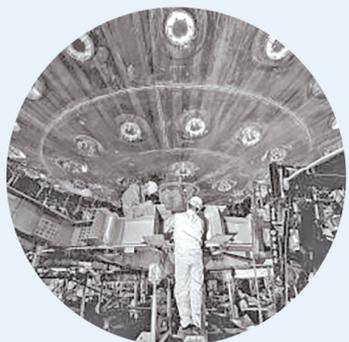
2007年，大亚湾反应堆中微子实验站动工建设。它的主体由地面控制室和地下5个实验室组成。地面距地下实验室的垂直距离最深可达320米。2011年年底，大亚湾反应堆中微子实验提前以6个探测器开始运行。2012年3月8日，时任中国科学院高能物理研究所所长王贻芳宣布：大亚湾反应堆中微子实验发现了一种新的中微子振荡，并测量到其振荡几率。该发现是对自然界最基本的物理参数的测量，被认为是物质世界基本规律的新认识。此后，大亚湾反应堆中微子实验继续高质量运行，获得丰硕成果。其中，中微子振荡振幅的测量精度从2012年的20%提高到了28%。

2020年年底，大亚湾反应堆中微子实验装置正式退役。作为我国第一代中微子实验装置，它还取得了“精确测量反应堆中微子能谱”“给出低质量区惰性中微子最好的限制”等多项世界领先的科研成果。

如今，我国新一代大型中微子实验装置——江门中微子实验正在紧张建设中。

2024年10月10日，秋高气爽时节，记者来到广东江门中微子实验室。映入眼帘的是一幢幢白色建筑，错落有致地排列在一片平地上，四周青山环抱。来到竖井口，进入隧道，伴随着链条的咔嗒声，隧道下降了约有5分钟，来到位于地下700米的实验大厅。

为什么选择在广东江门进行新一代中微子实验？王贻芳介绍，江门中微子实验(JUNO)以确定中微子质量顺序为首要科学目标，通过测量反应堆中微子振荡来完成。反应堆功率越大，释放的中微子数目就越多，实验精度就越高。实验站距反应堆50至55公里，对应振荡的极大值；到各个反应堆的距离必须相等，否则振荡效应会相互抵消。江门开平市附近区域正好符合这些苛刻条件，包括周围有广东阳江和台山反应堆，对测量质量顺序有效的总功率世界最高，也能找到跟所有反应堆距离基本相等的点。



工人在中心探测器不锈钢网架上施工。秦伟利 摄

### 相关新闻

## 2 深藏地下700米的有机玻璃球

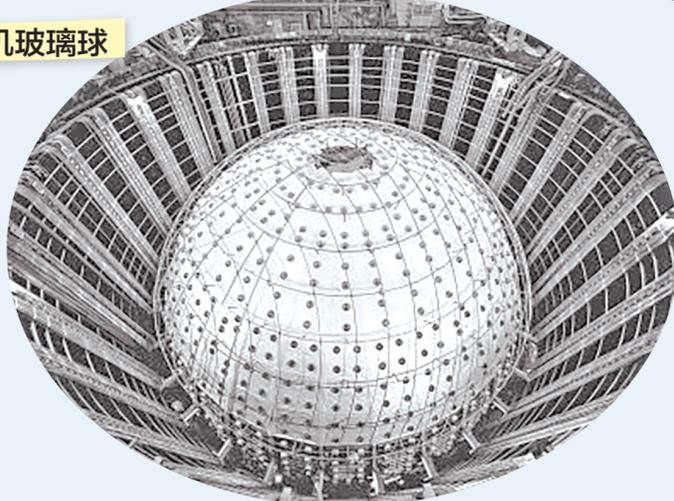
从罐笼出来，记者来到实验大厅门口。在做好一系列防尘处理后，实验大厅的门缓缓打开，向前几步，眼前出现了一个巨大的白色球体，坐落在圆柱形的水池中。“这是江门中微子实验的核心探测设备——中心探测器。”中国科学院高能物理研究所所长曹俊介绍，中心探测器位于地下实验大厅内44米深的水池中央，直径41米的不锈钢外壳是探测器的主要支撑结构，承载直径35.4米的有机玻璃球、2万吨液体闪烁体(以下简称“液闪”)、2万个20英寸光电倍增管、2.5万个3英寸光电倍增管，以及前端电子学、电缆、防磁线圈、隔板等诸多探测器部件。探测器运行时，水池中还要注入3.5万吨超纯水。

江门中微子实验有机玻璃球由263块12厘米厚的拱穹球面板和上下烟窗粘接而成，有机玻璃净重约600吨，是世界最大的单体有机玻璃球。“相比其35.4米的直径，12厘米厚的有机玻璃球壁按比例换算，就好像鸡蛋壳一样薄。”曹俊介绍，为了提高实验的灵敏度和准确性，有机玻璃球生产采用了独特配方和工艺，其天然放射性本底轴和钍的质量占比小于一亿分之一，以保证其高透光率和低本底的特点；为防止氦及其衰变子体污染有机玻璃，拼接有机玻璃球时表面需要用膜材料和带有水溶胶的纸进行保护，可在建设结束后顺利取下；有机玻璃有老化现象，球体表面容易产生裂纹，研发团队通过多种方法降低老化速度，保证探测器安全运行；探测器建成后，有机玻璃球内部将是2万吨液闪，外部是3.5万吨超纯水，球体内外压力不同，这对有机玻璃球的拼接工艺提出了很高要求。

## 3 捕捉中微子的“天罗地网”

当中微子在液闪中发出微弱的光，密布于不锈钢网壳内侧的一只只“眼睛”——光电倍增管便开始发挥作用。记者到现场看到还没有安装进中心探测器的光电倍增管，每个直径足有半米长。这种20英寸的光电倍增管在中心探测器上要安装2万个，再加上25万个3英寸光电倍增管，为捕捉中微子布下了“天罗地网”。

“光电倍增管是中微子探测器中最重要的部分，中微子信号就是通过光电倍增管探测出来，它们将中微子与液闪反应的光信号转变为电信号，并放大千万倍，然后在计算机中进行具体分析和研究。”王贻芳介绍。这个国之重器的建设，客观上带动了我国光电倍增管行业的发展——国际上能生产相关光电倍增管的公司很少，不仅性能达不到要求，售价还特别高。因此，中国科学院高能物理研究所的科学家们启动了光电倍增管的预研并积极推动国产化。他们发明了一种全新构型及电子放大方式的新型光电倍增管，在与相关企业



建设中的江门中微子实验中心探测器(拼接照片)。新华社发

2万吨液闪、600吨有机玻璃，再加上其他设备，这么重的重量，如何才能平稳地立起来？这需要不锈钢网壳的支撑。不锈钢网壳由预制的H型钢通过12万套高强度螺栓拼接而成，是目前国内最大的单体不锈钢主结构。“我们在不锈钢网壳设计过程中获得了多项技术发明专利，其中的铆钉技术相关国家标准获得批准并发布，填补了国内空白。”曹俊介绍。此外，探测器运行时有机玻璃球置于超纯水中，需要长期承受约3000吨的浮力，这些力需要通过有机玻璃球节点、连接杆和不锈钢节点传递到不锈钢网壳主结构上。经过反复设计优化和上百次试验，各节点都获得超

高承载能力。

中微子质量极小，速度极快，与物质的相互作用极为微弱，中心探测器如何将其捕捉到呢？2万吨的液闪起到了主要作用。当大量中微子穿过探测器时，极少的一部分会与液闪发生反应，发出极其微弱的闪烁光，被光电倍增管探测到，从而达到捕捉中微子的目的。“作为探测中微子的靶灵敏物质，液闪的主要成分是烷基苯，是日常生活中洗手液、洗衣液的主要原料，但江门中微子实验所用的液闪需要非常干净。”王贻芳说。此外，液闪还需要很高的光输出、极好的透明度和极低的放射性本底，这些都给其制备带来极高难度。

速度，从而显著减低冲击波的强度，避免发生链式反应。

中微子不仅要捕捉得到，还要捕捉得准确，这需要符合探测器将非中微子的信号排除掉。江门中微子实验反符合系统负责人杨长根介绍，水池里3.5万吨的水需要在水净化室进行纯化，这些超纯水可以用作宇宙线探测器，将宇宙线对中微子探测的干扰排除，也可作为屏蔽层，屏蔽掉岩石中的天然放射性以及宇宙线在附近岩石中产生的大量次级粒子。此外，水池上方的径迹探测器可以测量宇宙线的精确方向，更有效地排除错误信号，使中微子探测更精准。

目前，江门中微子实验建设进入收官阶段：最内层的有机玻璃球已合拢，外层的不锈钢网架和光电倍增管也在有序合拢中，预计11月底完成全部安装任务，并启动超纯水、液闪的灌装，2025年8月正式运行取数，预计运行约30年。

来源：光明日报

中国科学院消息，位于地下700米的广东江门中微子实验(JUNO)的中心探测器内部，世界最大的单体有机玻璃球已经全部建成，进入建设的收官阶段。

网友调侃称，“我终于有了一个高大上的名字了——中微子。如果在地下700米处发现了中微子，翻翻过来就是去地府抓了个鬼。”

为什么大家这么说呢？我国道教有个说法：人死为鬼，鬼死为尊，尊死为希，希死为夷，夷死为微，微死为无。难怪网友们戏称，中微子就是“阿飘”。

江门中微子实验装置为什么要建这么深？

由于地面上有很强的宇宙射线，会干扰对中微子的探测。700米的山体和岩层就相当于过滤器，可将宇宙射线的强度大幅降低，让我们得到纯净的中微子信号。

中微子到底是什么呢？

在粒子物理学中，科学家一致认为，

中微子是怎么产生的呢？

大多数粒子物理和核物理过程都伴随

为什么寻找中微子？

我们的宇宙中充斥着大量的中微子，大部分为宇宙大爆炸的残留，大约为每立方厘米300个。科学家普遍认为，广泛存在于物质世界中的中微子，就包含了反物质世界的重大信息。

其实，我们地球本身也会发出中微子，而这些中微子的构成与我们现在看不到的结构有关系。

中微子是宇宙形成之初就存在的最古老也最原始的基本粒子，携带着非常重要的神秘信息，研究中微子对于认识宇宙和我们现存的世界物质都具有非常重要的意义，也是国际最前沿的基础科学。

作为我国大科学工程建设在粤港澳大湾区的重大布局，江门中微子实验以测量中微子质量顺序为首要科学目标，同时也将深入研究大气中中微子、太阳中微子、地球中微子、超新星中微子等。

来源：央视社教



江门中微子实验地面设施。

### 资讯

## 我国首艘深远海多功能科学考察及文物考古船完成试航 结果全部达标

10月26日下午4时许，我国首艘深远海多功能科学考察及文物考古船“探索三号”完成试航试航，停靠在中国船舶广船国际造船码头。本次试航历时8天，共约200人参与，共完成了测速、操纵性、水下辐射噪声及信息化、智能化等30个大类的试验，试验结果全部达标，部分指标超出原设计目标。

深远海多功能科学考察及文物考古船“探索三号”由我国自主研发设计并建造，是我国首艘具有覆盖全球深远海(含极区)探测并具备冰区载人深潜支持能力的综合科考船。船长约104米、排水量约10000吨，最大航速16节、艏艉双向破冰、续航力15000海里、载员80人。

“探索三号”既可以进行深海科学考察及文物考古，还可在夏季进行极区海域科学考察，将使我国载人深潜能力从全海深拓展到全球海域，提升我国深海考古作业能力，“探索三号”计划于2025年初交船。

来源：央视新闻

## 地球短暂有了“第二个月亮”

天文专家介绍，最近一段时间，地球迎来了一个新的限时版“迷你月亮”。这个“月亮”是谁？为什么说是限时版？中国科学院紫金山天文台科普主管王科超为您揭秘。

王科超介绍，这个新的“月亮”实际上是名为2024 PT5的近地小行星。今年8月，南非阿特拉斯(ATLAS)观测计划首次观测到这颗小行星，其直径约为11米。

“这颗小行星最近在地球轨道附近被地球引力临时‘捕获’，相对地球以马蹄形轨道绕行。绕地球时间从今年9月29日持续至11月25日，在这一时段短暂成为地球的一颗‘小卫星’，与月亮颇为类似。此后，这颗小行星将脱离地球的引力束缚，离开地球附近，继续绕太阳运行。”王科超说。

根据天文学家目前的观测研究，2024 PT5的半长轴为1.012个天文单位、偏心率为0.0210、轨道倾角为152度、轨道周期为102年，地球的半长轴为1个天文单位、偏心率为0.0167、轨道周期为1年。2024 PT5绕太阳运行的轨道和地球绕太阳运行的轨道非常相似。

不过，由于这颗小行星比月亮距离地球更远、且体积太小，对普通公众而言，我们无法用肉眼或者是借助双筒望远镜看到这颗地球限时拥有的“第二个月亮”。

来源：新华社

## 比博尔特还快！

恐龙留在韩国的脚印，藏了一个惊人秘密



科学家研究了名为Dromaeosauriformipes rarus的麻雀大小的恐龙足迹。图片来源：《新科学家》

对于一些鸟类来说，飞行不仅需要符合空气动力学原理的翅膀，还需要足够的速度。

根据美国《国家科学院院刊》10月21日发表的一项研究，一只麻雀大小的霸王龙“亲戚”在1.06亿年前留下的脚印化石，可能暗示了这种动物在奔跑时拍打翅膀以延长步幅的情景，这也许是翱翔天空的前兆。如果这项研究成立，它将提供新证据，证明其他带羽毛的恐龙——不只是现代鸟类的祖先，已经处于飞行的边缘。

未参与这项研究的美国洛杉矶自然历史博物馆恐龙研究所所长Luis Chiappe表示：“我相信人们几乎已证明这些动物在空气动力学上具备了起飞的能力。”

这些新发现来自韩国东南部化石丰富的晋州组。在那里，古生物学家曾沿着一个古老的湖岸发现了翼龙、老鼠大小的早期哺乳动物、鳄鱼和许多恐龙留下的脚印化石。

当时，至少有两种大型动物已经飞上了天空，一种是翼龙，一种是始祖鸟等有羽毛的兽脚类恐龙。一些古生物学家认为，其他有羽毛的恐龙——包括小盗龙也曾飞上天空，但这一说法仍有争议。晋州组的两组足迹提供了新线索。第一组保存了7个清晰的脚印，间距约为46厘米，是由一种名为Dromaeosauriformipes rarus的罕见恐龙，以每小时2公里的速度留下的。

第二组显示了3个完全相同的足迹，间距分别为25厘米和31厘米。此前，研究人员计算认为，如果仅用后腿，这种恐龙必须以每小时38公里的速度移动——大约每秒10.5米，这比牙买加运动员尤塞恩·博尔特创造100米短跑世界纪录的速度还快。

这一结论引起了论文作者之一、美国达科他州立大学的古生物学家Alexander Decicchi的注意。“这是怎么做到的？只有一种可能，那就是翅膀在帮助它们。”

来源：《中国科学报》