

# 打开通往新物理世界的大门

## ——“江门中微子实验”先导科技专项及进展\*

文/ 中国科学院“江门中微子实验”战略性先导科技专项研究团队

中国科学院高能物理研究所 北京 100049

**【摘要】** 中微子物理是粒子物理最重要的前沿之一,存在众多未解之谜,可能成为超出标准模型的新物理突破口,也是粒子物理、天体物理和宇宙学研究的交叉前沿。大亚湾中微子实验2012年出人意料地发现大的新中微子振荡模式,使近期测量中微子质量顺序和CP相角成为可能。江门中微子实验(原名大亚湾二期实验)2013年得到中科院战略性先导科技专项支持,2015年启动建设,预计2020年投入运行。它以测量中微子质量顺序为核心科学目标,同时精确测量中微子6个振荡参数中的3个,达到好于1%的国际最好水平,使检验中微子混合矩阵的幺正性、发现新物理成为可能。它也可以研究超新星中微子、地球中微子、太阳中微子、大气中微子,寻找暗物质、质子衰变等,在多个领域达到国际先进水平,不仅能对理解微观的粒子物理规律做出重大贡献,也将对宇宙学、天体物理乃至地球物理做出重大贡献。

**【关键词】** 中微子,质量顺序,反应堆,液体闪烁体,超新星

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.05.013

### 1 中微子研究是新物理的突破口

中微子是构成物质世界最基本的单元之一。与其他基本粒子——夸克和带电轻子相比,它们性质特殊,极难探测,仍然存在许多最基本的科学问题需解决。对中微子未知问题的研究,不仅将完善我们对物质世界最基本规律的认识,也很有可能导致对现

有粒子物理理论体系——标准模型的突破,踏入新物理的大门。中微子研究近年来蓬勃发展,与天文学、宇宙学、地球物理等多个学科形成交叉,成为最具活力的前沿之一。

1998年发现中微子振荡现象<sup>[1]</sup>,说明中微子具有微小的质量,是目前发现的唯一超出粒子物理标准模型的实验现象。中微子

\* 基金项目:中科院战略性先导科技专项(XDA10000000)

修改稿收到日期:2015年9月9日



中国科学院

振荡由6个参数描述,大亚湾中微子实验2012年发现中微子第三种振荡模式,测得混合角 $\theta_{13}$ <sup>[2]</sup>。至此6个参数已测得4个半,包括3个混合角 $\theta_{12}$ 、 $\theta_{23}$ 和 $\theta_{13}$ ,2个质量平方差 $\Delta m_{21}^2$ 和 $|\Delta m_{32}^2|$ ,未知的包括 $\Delta m_{32}^2$ 的符号,又称中微子质量顺序,以及电荷宇称(CP)相角。CP相角的大小与宇宙中“反物质消失之谜”有关,是宇宙起源必须解决的关键问题。

将中微子质量纳入标准模型中,需要回答它是狄拉克粒子还是马约拉纳粒子、它的质量顺序是正的还是反的、它的绝对质量大小是多少。中微子质量目前还无法直接探测。为解释它为何如此之小,理论上强烈倾向于存在标准模型之外的重马约拉纳中微子。如果存在新的中微子种类,有可能通过精确测量混合参数得到线索。中微子数目众多,在整个宇宙空间内为 $330\text{个}/\text{cm}^3$ ,它的质量对宇宙的起源与演化有重要影响。

中微子也是一种新的天文观测手段,在直接观察天体或地球内部过程上几乎是唯一手段。相关重大科学问题包括寻找超高能宇宙线的起源、研究超新星爆发的机制、研究太阳模型、利用超新星背景中微子研究宇宙大尺度结构、利用地球中微子研究地球演化等等。

中微子研究在未来相当长的一段时间内将是基础研究的前沿热点之一。江门中微子实验将瞄准中微子质量顺序这一国际热点,解决多个重大基础科学问题,力争取得突破性科学成果,巩固我国在中微子研究领域的领先地位。同时建立一支国际领先的科研团队,在粒子物理基础科研领域进入世界前列,并带动国内相关企业的技术创新,为国家科技强国战略做出贡献。

## 2 江门中微子实验具有丰富的科学目标

测量中微子质量顺序是江门中微子实验的首要科学目标。这是当前中微子研究的焦点问题,具有重大科学意义。它是中微子的内禀属性之一,决定了中微子的“味”结构,是所有粒子物理模型都必须面对的问题;它直接影响中微子与物质的相互作用,并因此在宇宙演化、太阳及超新星中

微子的产生与传播、各种长基线中微子振荡等方面有重要影响;它影响CP相角测量实验的前景,也决定另一类重要实验——无中微子双贝塔衰变( $0\nu\beta\beta$ )实验的发展方向。如果观察到了 $0\nu\beta\beta$ 衰变现象,则中微子肯定是马约拉纳粒子。如果没有观察到,对反质量顺序情况,未来10—20年达到的实验精度将能确定它是狄拉克粒子,不会存在 $0\nu\beta\beta$ 衰变;对正质量顺序情况,则仍然无法确定。江门中微子实验6年的实验数据将确定中微子质量顺序到3—4倍标准偏差的置信水平<sup>[3]</sup>。

江门中微子实验可以通过研究反应堆中微子振荡,同时精确测量 $\sin^2 2\theta_{12}$ 和2个质量平方差到好于1%的精度。加上大亚湾实验对 $\theta_{13}$ 的测量,我们将能精确测量6个混合参数中的4个至国际最高精度。精确测量混合参数将使检验混合矩阵的么正性成为可能。假如存在重马约拉纳中微子,么正性的破缺有可能在1%的尺度上显现出来。

超新星对宇宙学和天体演化具有极为重要的意义。中微子驱动的三阶段延迟爆发机制是解释核塌缩型超新星爆发的主流模型。到目前为止,人们总共探测到20多个超新星中微子事例。对银河系内的典型超新星,江门中微子探测器将可以探测到5 000—8 000个中微子,将能确认或否定该爆发机制。也可以利用超新星中微子进行绝对质量测量、混合参数测量等粒子物理研究。

地球内部的铀、钍放射性产生的地热是驱动地球演化的主要因素。它们衰变产生的中微子称为地球中微子。不同的地球演化模型预言了不同的铀钍含量,江门中微子探测器比以前的实验规模大20—40倍,能够更准确地探测地球中微子,有望达到判别地球演化模型所需的3 TNU的精度。

江门中微子实验还将在超新星背景中微子、太阳中微子、暗物质寻找、质子衰变等研究方面达到国际先进水平,也将开展惰性中微子、大气中微子、寻找奇异现象等研究。

总之,江门中微子实验将具有非常丰富的物

理目标<sup>[4]</sup>,对当前中微子的多个未知问题进行国际领先水平的研究。可以预期,在未来的10—20年,中微子实验物理将取得丰硕的成果,而我国将在这一领域做出重大贡献,成为国际中微子研究的中心之一。

### 3 中微子研究的国际态势

大亚湾中微子实验发现 $\theta_{13}$ 远大于预期值,使近期内测量中微子质量顺序和CP相位角成为可能。中微子质量顺序测量成为新的科学前沿竞争焦点,国际上共有美、法、日、印、韩等国提出的8个实验正处于不同的推进阶段(表1)。

在这些实验中,NOvA于2008年开始建设,2014年开始运行,但只能在CP相位角等于225—315度时能区别质量顺序。其他实验各有其技术挑战性,需要一定的时间完成设计和预先研究,预期启动时间都在2020年前后,这是自 $\theta_{13}$ 测量之后又一轮激烈的国际竞争。江门中微子实验有望率先测得质量顺序。由于实验原理不同,其结果可与加速器中微子实验DUNE和几个大气中微子实验相互验证。

除中微子质量顺序外,中微子6个振荡

参数中的3个只有反应堆实验能够进行精确测量,加速器中微子实验能够测量CP相位角和精确测量另2个振荡参数,具有很强的互补性。

江门中微子实验建成后将成为最先进的超新星中微子观测站。如果日本基于纯水的百万吨级Hyper-K实验得到批准,其统计精度将超越江门中微子实验,但只能探测电子型中微子,而基于液体闪烁体的江门中微子实验能同时探测所有味道中微子,对研究超新星性质有独到的优势。在地球中微子、太阳中微子、暗物质寻找、质子衰变等方面,江门中微子实验也各具有自己优势或特色。

### 4 实施“江门中微子实验”战略性先导科技专项

测量中微子质量顺序科学意义重大,国际竞争非常激烈。中科院通过战略性先导科技专项对江门中微子实验给予支持并启动实施,对赢得国际竞争、率先取得重大科学突破至关重要。

江门中微子实验利用反应堆中微子振荡中的干涉效应测量质量顺序,其最佳基线

表1 国际上8个测量中微子质量顺序实验计划

序号	实验名称	预计开始运行	预计取得成果时间	实验类型
1	美国NOvA <sup>[5]</sup>	2014年	2020年(1/4几率)	加速器
2	江门中微子实验	2020年	2024年	反应堆
3	印度INO <sup>[6]</sup>	2020年	2030年	大气
4	美国DUNE <sup>[7]</sup>	2024年	2027年	加速器
5	法国ORCA <sup>[8]</sup>	~2019年	~2023年	大气
6	美国南极PINGU <sup>[9]</sup>	~2020年	~2024年	大气
7	韩国RENO-50	~2020年	~2024年	反应堆
8	日本Hyper-K <sup>[10]</sup>	~2025年	~2028年	大气

注:预计时间带近似号的为尚未正式批准的实验。取得成果时间按达到3倍标准偏差的“证据”标准计算



中国科学院

(即反应堆到探测器的距离)为 53 km,需要很大的探测器和极佳的能量分辨率。2008 年中科院高能物理所提出进行该实验的设想<sup>[11,12]</sup>,称为大亚湾二期实验。2012 年大亚湾实验发现 $\theta_{13}$ 出人意料的大,增加了实验的可行性,这项工作得以迅速提上日程。实验要求探测器到各个反应堆的距离相等,否则干涉效应将相互抵消。由于大亚湾附近的反应堆布局不利于测量,2012 年确定在广东省江门市开平市建立实验站,选址位于距阳江核电站和台山核电站 53 km 处。实验将建设一个有效质量为 2 万吨的液体闪烁体探测器,能量精度为 3%。

为屏蔽宇宙线的影响,中微子探测器必须安装在地下。实验厅最大埋深设计为 700 m,实验厅跨度为 48 m,将是国内跨度和土石方量最大的大型地下实验洞室。进入隧道为竖井加斜井方案。实验站已启动建设,预计 2017 年底完成。

江门中微子探测器的有效质量比目前国际最大的液体闪烁体探测器 KamLAND 大 20 倍<sup>[13]</sup>,设计能量精度比国际最佳的 BOREXINO 实验提高 1 倍<sup>[14]</sup>,技术上具有极大挑战性。为此需要解决高量子效率的新型光电倍增管研制、高性能液体闪烁体研制、超大型高精度探测器设计等一系列技术难题。

探测器的初步设计方案如图 1 所示<sup>[15]</sup>。中心为 2 万吨液体闪烁体,置于直径 35.4 m、厚 12 cm 的有机玻璃容器内。17 000 个 50 cm 直径的光电倍增管安装在有机玻璃球外的网架上。有机玻璃球与网架浸泡在直径 42.5 m、高 42.5 m 的水池中。水池中为 3 万吨纯净水,在网架处分隔成光学隔离的内外两层,内层为中心探测器,探测中微子信号;外层为水切伦科夫探测器,装有约 2 000 个光电倍增管,探测宇宙线信号。在水池顶部采用 OPERA 实验退役的塑料闪烁体作为径迹探测器。

光电倍增管是实验的关键之一。为达到实验所要求的能量分辨率,要求量子效率大于

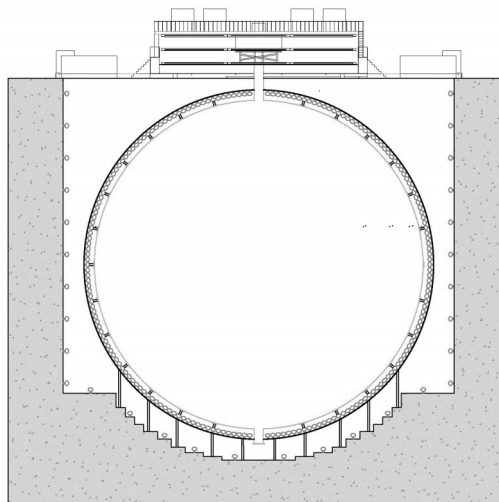


图 1 江门中微子实验探测器系统

30%。目前通用的商业产品不能达到这一要求,依靠国外公司研发则成本居高不下。为了降低实验成本并带动国内企业的技术创新,中科院高能物理所组织国内相关科研机构及生产厂家,成立了合作组,于 2009 年初提出了一种新型的光电倍增管设计,开始自主研发,目前已取得了多项技术突破,成功研制出 50 cm 直径、基于微通道板的光电倍增管,量子效率接近国际最好水平(图 2)。项目组同时也在推进传统型光电倍增管的改进以作为备用方案。

由于探测器巨大,液体闪烁体的透明度是关键的因素,同时需降低其中的天然放射性至极低

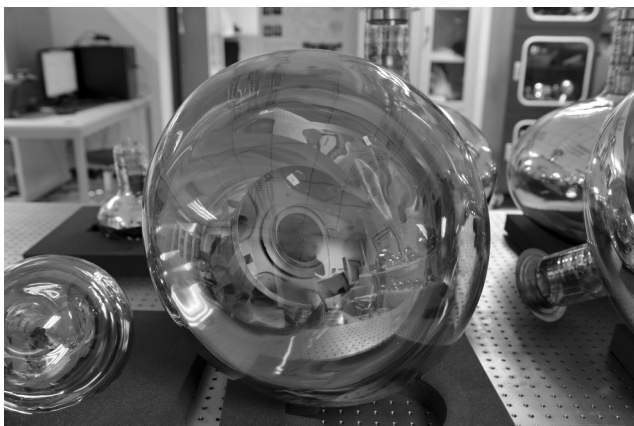


图 2 江门中微子实验自主研发的 50 厘米微通道板光电倍增管



的水平。项目组研究了蒸馏、蒸汽剥离、三氧化二铝吸附、水萃取、高纯氮气等适宜于大规模纯化的方法,获得了衰减长度达到25 m的烷基苯。以烷基苯为主要原料生产出的液体闪烁体,预计将远好于目前国际最好水平。

国际合作是粒子物理研究的国际惯例。江门中微子实验因其重大的科学意义、先进的探测器和丰富的科学目标,吸引了大量国际合作者,2014年7月成立了正式的国际合作组,已形成由中国、美国、俄罗斯、法国、意大利、德国等12个国家和地区、55个研究机构、约380名科学家和工程师共同参与合作的大型团队。国外合作者将根据其经验、兴趣和经费,在顶部径迹探测器、液体闪烁体纯化、读出电子学、光电倍增管测试等方面做出贡献。

## 5 “江门中微子实验”专项研究进展

专项实施两年多以来,已经按照预定目标完成了阶段性任务,关键技术研究取得若干重要进展,公共平台与配套设施建设进展顺利,较好地支撑了专项运行和相关决策、研究工作的需要。

完成实验选点优化。在地质详勘的基础上,利用GPS完成了核电站各堆芯到实验点的直接距离测量,精度好于1 m。根据地形完成了宇宙线模拟,初步计算了宇宙线带来的本底,提出了能量非线性自修正的方法,利用改进的分析方法重新进行了计算,与原选点结论一致。

确定实验物理目标,完成物理黄皮书编制。2013年11月,召开了江门中微子实验物理目标研讨会,确定了研究方向,提出成立相应工作组开展研究,并组织完成物理目标黄皮书的撰写。对最重要的物理目标——中微子质量顺序,提出了能量非线性自修正的方法,采用6年的数据量,得到江门

实验灵敏度的正式结果:相对测量为3倍标准偏差,绝对测量为4倍标准偏差。该研究发表在*Phys.Rev.D*上<sup>[3]</sup>。

确定总体实验方案,根据物理要求给出探测器的初步技术要求。经过物理研究和探测器技术的综合考虑,确定初步的技术要求。目前已确定的技术要求包括:(1)探测器的有效靶质量。(2)探测器的能量精度。这个能量精度要求主要与中心探测器、光电倍增管、液体闪烁体3个系统相关。(3)液体闪烁体采用不掺钎金属、基于烷基苯的液体闪烁体。(4)探测器应能实现液闪在线循环处理,以纯化放射性本底、对液闪预期之外的状况有二次处理能力。

完成实验概念设计(CDR)。在2013年形成的中文版本基础上,增加最新研究进展,形成英文版本。组织合作组全体对英文版本进行多次补充修订、相互检验校正,于2014年底完成实验概念设计。

确定中心探测器实施方案。2013年中心探测器在概念设计的基础上先后提出4种不同的结构设计方案,项目前期对这4种方案分别进行了结构计算和模拟,有针对性地开展了一系列模型实验。2014年3月,通过组织专家评审,将中心探测器的4种结构方案优化并缩减为2个,基本方案为有机玻璃球+不锈钢网架方案,备选方案为液袋+有机玻璃支撑板+不锈钢球罐方案。之后在国内开展了广泛的调研,结合国内的生产和制造能力,对这两种方案进行了深入细致的结构设计及受力分析,针对两种方案中所涉及到的关键材料和关键结构进行了一系列的材料性能实验和结构模型实验。对于不同方案涉及到的不同领域和不同技术在国内开展了广泛的调研,并和某些厂家开展了前期的试制研究工作,并针对探测器的现场制作展开了多次讨论。



中国科学院

2015年7月合作组会议上,经过合作组评审,中心探测器确定选择有机玻璃球+不锈钢网架方案。

搭建江门实验小模型。为了研究江门中微子实验的液闪和新型的光电倍增管性能,拟建造一个江门中微子实验的探测器模型,现已经完成模型探测器的结构设计,图纸设计,开始机械结构以及相应支撑结构的制造,探测器的搭建工作已经陆续展开。

新型光电倍增管研制取得突破性进展。在现有的1吋转移阴极设备上,通过各种研究,获得了许多重要结果,其中一种阴极的量子效率从32%、36.7%做到42.0%,比滨松的SBA、UBA(在此波长处分别为32.9%和38.8%)还高,而且,其与液闪的发射光谱(400—450 nm)的匹配性最好,该阴极及其工艺为国际首创。该技术已在非转移阴极的8吋样管中实现,在410 nm处,量子效率达到24.8%。老化试验证明:该阴极与其他双碱阴极趋势一致,表明其寿命能够满足要求。目前正在西安光机所的转移阴极设备上试制,以在20吋MCP-PMT上实现。

普通光阴极的球形和椭球形20吋MCP-PMT,透射时的量子效率在21%—26%之间,个别透射+反射的QE达到年度目标(30%),P/V(峰谷比)达到3—8,远超过2.5。

液闪研制进展顺利。液闪研制首先是实验室小样品,测量各项性能指标,小样品基本达到要求后研制中型纯化设备,中型探测器检验结果,最后制定JUNO大型液闪纯化方案,确定液闪配方。

在提高光产额的研究方面,开展了不同温度下液闪光产额变化的研究,液闪温度从30度降到5度,光产额将有7%的提高,数据提供整个JUNO探测器工作温度选择参考。开展了发光物质PPO, Bis-MSB对光产额影响的研究,测量结果显示液闪的光产额随着发光物质的比例不同光产额也将不同。

初步研究了烷基苯的纯化方法,开展了对

LAB减压蒸馏,三氧化二铝、硅胶、活性炭吸附等多种方法的纯化研究。用测量衰减长度,测量吸收光谱的方法检验纯化结果。初步测量表明:三氧化铝吸附纯化的LAB较好,衰减长度可满足实验需求。

研究蒸馏方法提高烷基苯的光学性能,去除放射性杂质,实验主要开展了油浴温度、分馏头温度、真空度和蒸馏塔内填充物质的研究,得到了在分馏温度小于100度,真空度好于40 Pa时烷基苯纯化质量最好的工作条件。测量了蒸馏纯化后的吸收光谱,在360 nm以下吸收光谱的杂质明显降低。

## 6 发展展望

江门中微子实验先导专项的组织实施标志着我国中微子研究进入新的发展阶段,将巩固我国在中微子研究领域的领先地位,使我国成为国际中微子研究的中心之一。

江门中微子实验先导专项实施以来的进展表明,各项研究任务有望取得预期成果,在大亚湾实验的基础上,以我们有优势的液体闪烁探测器技术和反应堆中微子物理为主线,预期能够率先测定中微子的质量顺序。中微子质量顺序的确定是测量轻子CP相位的先决条件。利用加速器中微子测量轻子CP破坏相位的方法存在参数简并的问题。中微子质量顺序的不同会导致两个不同的CP相位拟合值,从而大大增加实验测量CP相位的难度。此效应特别对于中等基线、物质效应较小的加速器中微子实验更为显著。因此,江门中微子实验使用不依赖于轻子CP相位的方法独立测量中微子质量顺序对加速器中微子测量CP相位的实验设计有重要的指导作用。

江门中微子实验的大型地下探测器为我们探测超新星爆发的中微子提供了独特的机遇。超新星爆发大约有99%的能量以中微子形式在10—30 s的时间内发射出来,产生大量不同能量、不同味道的中微子。因此超新星爆发是天体物理中中微子的重要来源之一。江门中微子实验的探测器

可以在反贝塔衰变(IBD)、原子核的带电流和中性流以及弹性散射等多个反应道探测到大量的中微子事例。利用IBD事例的能量和时间信息可以限制反电子中微子的绝对质量;通过各个振荡道的联合分析,我们可以拟合不同味道中微子束流的测量精度,特别是可以测量中微子与反中微子的通量比、电子味和其他味中微子的通量比等物理量的精度,从而有可能区分不同的中微子振荡和超新星爆发方面的相关机制;利用中微子的能谱信息,我们还可以研究中微子在超新星内部和地球的物质效应、中微子振荡的集体效应等方面丰富的物理内容。

在量子效率新型光电倍增管的研制方面,通过本专项的研究将达到国际最好水平。光电倍增管是科研和工业中应用广泛的光电探测元件,有广阔的市场前景。目前大型和高性能的光电倍增管被日本滨松公司垄断。中科院高能所组织成立的产业联盟,为中微子实验研制新型的高量子效率光电倍增管,已取得很好的进展。联盟内的企业和科研单位合作交流密切,在相关高新技术上互通有无。新型光电倍增管研制的成功将不仅能打破滨松公司的垄断,提供给本专项和国际上其他中微子实验,也能提高企业的相关高新技术和创新能力。

地下实验室跨度为国内之最,探测器体积是目前世界上最大的液体闪烁体探测器的20倍,液体闪烁体的透明度也是世界上前所未有,探测器的电子学、数据获取系统等方面充满挑战性,因此,江门中微子实验专项的顺利实施,将不仅提高我国的粒子物理探测器技术,推动重大科学发现,抢占未来科技竞争制高点,而且能够带动光电倍增管、机械、设计、化学、材料、电子、计算机和自动控制等国内相关企业的技术创新力和国际竞争力,为实现科技强国战略做出重要

贡献。

## 7 小结

江门中微子实验是一个以测量中微子质量顺序为核心科学目标、具有丰富物理潜力的大型基础科学实验。实验各项核心技术均取得突破,实验站建设已启动,预计2020年投入运行,有望在激烈的国际竞争中率先取得重大科学突破。

### 参考文献

- 1 Fukuda Y, Hayakawa T, Ichihave E, et al. Super-K Collaboration. Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos. *Physical Review Letters*, 1998, 81: 1562.
- 2 An F P, Bai J Z, Balantekin A B, et al. Daya Bay Collaboration. Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay. *Physical Review Letters*, 2012, 108: 171803.
- 3 Li Y F, Cao J, Wang Y F, et al. Unambiguous determination of the neutrino mass hierarchy using reactor neutrinos. *Physical Review D*, 2013, 88: 013008.
- 4 An F P, An G P, An Q, et al. Neutrino physics with JUNO. *arXiv:1507.05613*.
- 5 Ayres D, et al. Proposal to build a 30 kiloton off-axis detector to study  $\nu(\mu)$  to  $\nu(e)$  oscillations in the NuMI beamline. *arXiv:hep-ex/0503053*.
- 6 Samanta A. The Mass hierarchy with atmospheric neutrinos at INO. *Physical Letters B*, 2009, 673: 37.
- 7 Adamset C, Adams D, Akiri T, et al. LBNE collaboration. Scientific opportunities with the long-baseline neutrino experiment. *arXiv:1307.7335*.
- 8 Katz U F, et al. (KM3NeT Collaboration). The ORCA option for KM3NeT. *arXiv:1402.1022*.
- 9 Aartsenet M G, et al. (IceCube-PINGU Collaboration). Letter of intent: The precision icecube next generation upgrade (PINGU). *arXiv:1401.2046*.
- 10 Abe K, et al. (Hyper-K Collaboration). Letter of intent: The Hyper-Kamiokande experiment: Detector design and physics potential. *arXiv:1109.3262*.



中国科学院

- 11 Zhan L, Wang Y F, Cao J, et al. Determination of the neutrino mass hierarchy at an intermediate baseline. *Physical Review D*, 2008, 78: 111103.
- 12 Zhan L, Wang Y F, Cao J, et al. Experimental requirements to determine the neutrino mass hierarchy using reactor neutrinos. *Physical Review D*, 2009, 79: 073007.
- 13 Eguchi K, et al. (KamLAND Collaboration). First results from KamLAND: Evidence for reactor anti-neutrino disappearance. *Physical Review Letters*, 2003, 90: 021802.
- 14 Arpesella C, et al. (Borexino Collaboration). Direct measurement of the Be-7 solar neutrino flux with 192 days of borexino data. *Physical Review Letters*, 2008, 101: 091302.
- 15 An F P, et al. (JUNO Collaboration). JUNO Conceptual Design Report. arXiv: 1508:07166.

## Open the Gate to New Physics World—Strategic Priority Research Programme of Jiangmen Underground Neutrino Observatory and Its Progress

Research Team for Strategic Priority Programme of Jiangmen Underground Neutrino Observatory,  
Chinese Academy of Sciences

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Neutrino physics is one of the most important topics of particle physics, with many mysteries. The breach of the Neutrino physics is beyond the standard model, and it's also a leading edge crossing with the particle physics, astrophysics and cosmology. In 2012, Dayabay neutrino experiment found a surprisingly large new neutrino oscillation mode, which makes the measurement of neutrino mass hierarchy and CP phase possible. Jiangmen Underground Neutrino Observatory (JUNO, originally called Daya Bay II) was approved by the Chinese Academy of Sciences and supported through the Strategic Priority Research Programme in 2013. The construction started in 2015, and the operation is expected to start in 2020. The main scientific goal of JUNO is to determine the neutrino mass hierarchy. It can also measure 3 out of 6 neutrino mixing parameters to a precision better than 1%, enabling the unitarity test of the neutrino mixing matrix in order to search for new physics. JUNO's science endeavor will extend beyond particle physics, covering astrophysics, earth science and cosmology by studying supernova neutrinos, geo-neutrinos, solar neutrinos, atmospheric neutrinos, proton decays and dark matter searches, reaching advanced level internationally in many fields. The JUNO detector is located in an underground laboratory with 700m overburden, 53 km from nearby reactor power plants. Its central detector is filled with 20 kton LAB based liquid scintillator. When neutrinos go through the detector, a very small part of them will interact with the liquid, producing scintillation light seen by 15 000 surrounding 20" photomultiplier tubes (PMTs). The energy of incident neutrinos and the interaction vertex can be reconstructed based on the charge and timing information from PMTs. The energy resolution is roughly inverse proportional to the square root of detected number of photon electrons. To reach the expected sensitivity of mass hierarchy, the energy resolution has to be better than 3% at 1 MeV, corresponding to 1 200 photon electrons per MeV, which is a much better performance than the state of the art detector such as BOREXINO and KamLAND. The technological challenges are new type of PMTs with high efficiency and highly transparent liquid scintillator. The water pool will shield the central detector from natural radioactivity in surrounding rocks. It also serves as a water Cherenkov detector after equipped with PMTs, to tag cosmic muons. There is another muon tracking detector on top of the water pool, used to improve muon detection efficiency and to get better muon tracking.

**Keywords** Neutrino, Neutrino mass hierarchy, reactor, liquid scintillation, supernova star