

本刊记者/李娜

大亚湾时代的中微子物理

大亚湾中微子实验发现了中微子第三种振荡模式,成为了中国物理学史上新的里程碑式发现,大亚湾的实验者们迎来了全世界的注目和掌声。这项成果不仅令实验者欢欣,还鼓舞了中国另一支研究力量——他们一直在中微子乃至粒子物理理论领域深耕,追踪大亚湾这样大型实验的进展,通过理论预言实验结果或者通过实验结果验证理论预言,去伪存真,一步步靠近人类苦苦探寻的自然规律。只是他们的研究成果不能被迅速验证是否成功,因为一项理论的突破往往要经过漫长的考验。此次大亚湾中微子实验的成功加速了中微子物理理论研究的进展,可以说为中微子研究开启了新的时代。

理论学家关注实验前沿

国内不少中微子理论研究领域的科学家一直非常关注前沿问题以及大亚湾实验进展。清华大学近代物理研究所和高能物理研究中心何红建教授就是其中之一。

2011年4月何红建的清华研究组在美国发表了长篇论文系统分析和预言 θ_{13} , 这比同年6月日本T2K和美国MINOS中微子实验公布的结果早了两个月,并得到其实验结果的直接支持。2012年元旦前他与学生许勋杰就已通过新的八面体对称性定量预言了 θ_{13} 取值在 7.9° — 14° 之间,而大亚湾实验测得 θ_{13} 中心值 8.8° ,正好落入此理论预言范围。

美国威斯康辛大学Vernon Barger教授1998年提出中微子混合Bimaximal Mixing (BM)方案,该方案提出后受到 θ_{12} 实验数据所排斥,学界逐渐将其遗忘并转向其他流行方案。但清华组没有盲从,自2011年夏天另辟蹊径重新研究BM,并寻找能够预言BM的最小有限群及其破缺。经过大量探索,成功建立了八面体群的几何破缺机制,并预言如下定量关系: $\theta_{13}=45^\circ-\theta_{12}$,其中没有自由可调参数。因为 θ_{12} 已被之前的中微子实验所精确测量,因此能够定量预言 θ_{13} 的取值范围。

清华组近年发表的关于 θ_{13} 的多种理论分析和预言,受到了国际同行重视。

2010年初发表的关于中微子 μ - τ 对称性和CP破坏共同起源的长论文被李政道教授的学术论文详细引用和定量比较,并被李先生论文称为“中微子微扰”的GHY(Ge-He-Yin)方法,清华组最近又对此作了系统推广。同年7月何红建应邀在“大亚湾实验国际合作组年会”上作大会报告,介绍了清华组的系列理论预言。他一直在关注和思考实验,并与实验同行们密切交流。“我们作出的多种预言均有很强理论和实验依据,涵盖了中微子混合的几种基本可能性,对实验检验具有积极指导意义;最终哪一种预言对,要靠实验进行验证。”何红建表示,“大亚湾正在继续采集数据, θ_{13} 的测量精度会进一步提高,如果与我们的预言吻合得好,那我们预期大亚湾测得的 θ_{13} 中心值还会上移。”清华组的新理论还同时预言了 θ_{23} 的最大混合和最大CP破坏,前者与现有实验数据一致,后者将在国际上即将进行的长基线中微子实验中得到进一步检验。中微子CP破坏的存在能够解释宇宙中反物质消失之谜,这是清华组近年来中微子研究工作的另一个中心课题。

国内中微子研究有传统

大亚湾中微子实验之前,国内高能物理研究单位早已开始涉足中微子理论研究。中国科学院高能物理研究所不仅在中微子实验领域成绩骄人,在中微子理论研究领域也表现突出。该所邢志忠研究员是国内最早从事中微子研究的理论科学家之一,其最具代表性的原始创新成果是,与H. Fritzsch合作在国际上首次基于S(3)味对称性及其破缺机制提出轻子混合角的“双大一小”(或“民主”型)模式,比1998年的日本超级神冈大气中微子实验结果早了近3年,其基本思想成为构造中微子模型的典型途径之一。2008年应邀在美国费城召开的第34届国际高能物理会议上作大会综述报告,成为多年来首位在这一顶级高能物理系列会议上作大会报告的国内理论家。邢志忠2001年回国后仍旧致力于中微子研究,与大亚湾中微子实验联系紧密。大亚湾实验项目的启动

和成功使得高能物理研究所的中微子研究更具资源优势。

此外,中国科学院理论物理研究所的中微子研究组也从1996年开始研究中微子振荡并建立相关的新物理理论模型,包括超对称大统一模型和SO(3)味对称规范模型来解释太阳中微子和大气中微子失踪之谜,预言第三个混合角 θ_{13} 的大小。粒子物理标准模型最成功的检验是由定域对称性描述的量子规范理论。最近该研究组进一步推广SO(3)规范对称性,提出SU(3)味对称量子规范理论,通过选取合适的对称性破缺和真空结构,该理论可很好地预言中微子振荡的混合角和中微子质量。研究发现 θ_{13} 角与夸克混合角密切相关,其预言的值为 $\theta_{13}\approx 8.9^\circ$,与大亚湾中微子实验结果相一致。理论还预言中微子振荡具有最大的电荷-宇称对称性(CP)自发破缺,可在下一代中微子实验上进行检验,这将帮助理解宇宙中物质-反物质不对称的起源。同时,该理论还预言3个中微子的质量具有很大的简并性,其总质量可通过将来更精确的天体物理和宇宙学实验进行检验。

除上述单位之外,北京大学、南开大学、北京师范大学、山东大学、浙江大学、上海交通大学等单位也在中微子物理领域做了很多有益工作。在沿袭研究传统的基础上,大亚湾实验的成功将会进一步推动理论研究进展。

理论与实验可谓一枚铜币的两面,大亚湾实验成果发布之后,各个研究团队借此机会校验自身研究成果,并期待自己的理论在下一代中微子实验上得到进一步验证,大亚湾实验的成功掀开了中微子物理研究的新篇章。

记者还发现,2010年11月在李政道先生倡议下,清华大学中微子研究组联合国内几家高能物理研究机构举办过一个全国性中微子研讨会。会上李政道先生与国内同行们探讨了中微子物理的研究前景。值得一提的是,这场研讨会的主题现在看来颇为应景——“大亚湾时代的中微子物理”。■