

诺奖得主麦克唐纳谈中微子、大型对撞机与创新

周 顺 译

(中国科学院高能物理研究所 100049)

2015年,加拿大女王大学的阿瑟·麦克唐纳教授(Arthur B. McDonald)与日本东京大学的梶田隆章教授(Takaaki Kajita)共同分享年度诺贝尔物理学奖,因为他们分别领导加拿大萨德伯里中微子观测站实验(SNO)和日本超级神冈实验(Super-Kamio-kande)发现太阳和大气中微子振荡现象,证明中微子有质量。这也是存在超出粒子物理标准模型的新物理的确凿实验证据。

2017年5月,麦克唐纳教授首次访问中国科学院高能物理研究所。在参观北京正负电子对撞机国家实验室和其他多个粒子物理实验厅之后,他兴致勃勃地接受了中央电视台记者的专访,分享了自己对中微子物理学、中微子实验、大科学装置和科技创新的思考和观点。这里我们将专访译成文字,以飨读者。

一、大亚湾与江门实验

记者:麦克唐纳教授您好!非常高兴在北京见到您!我想您一定对大亚湾反应堆中微子实验很熟悉,因为您与高能所王贻芳教授和大亚湾实验国际合作组一起荣获2016年基础物理突破奖。您能评价一下大亚湾实验结果的科学重要性吗?

麦克唐纳:大亚湾实验是一个非常重要的测量。我们通过观测太阳和大气中微子,以及之前的反应堆实验,已经部分地了解中微子的基本性质。比如说,它们具有静止质量并且可以从一种类型转变成另外一种。这是超出迄今最成功的粒子物理学标准模型的新物理,也表明我们不得不在最基本的层次上修改标准模型。因此,我们应该怎么做就

依赖于中微子的其他性质。第三个混合角参数(也就是最小的轻子味混合角 θ_{13})就是由大亚湾实验率先测定的。这是一个非常漂亮的实验,它利用多个核反应堆和很多全同的探测器模块极为精确地测量了这个物理学基本参数。这个参数重要性体现在它和一个深刻的基本问题相关,即物质与反物质的对称性。物质和反物质是否完全对称将由另外一类基于加速器的中微子振荡实验来检验,当然后者的探测能力很大程度上取决于大亚湾实验以及验证了大亚湾实验结果的其他反应堆实验。

记者:中国的下一代中微子实验,也就是江门地下观测站实验(JUNO),正处在紧张的建造过程中。您对江门中微子实验所面临的技术挑战和物理前景怎么看?

麦克唐纳:江门中微子实验同样是一个探究中微子基本性质的最前沿的实验。虽然我们不知道中微子有质量,但是三个中微子质量 m_1 , m_2 和 m_3 当中,已知 m_2 大于 m_1 ,仍然不知道 m_3 是大于还是小于其余两个质量。这是中微子物理学中一个很重要的问题,也是江门实验要实现的主要物理目标。为了完成这个任务,他们正努力地推进相关的技术



创新。你可以看到我背后放置的新型光信号探测元件,这就是他们研发出来的,绝对漂亮!这个探测元件比以前的更灵敏,也是高能所与中国工业界合作的结果。这是一个非常好的范例,展示了基础科学研究怎样推进技术进步,与工业界的合作既可以促进技术创新也能够推动科学发展。

二、中微子物理学

记者:您觉得中微子物理学研究领域的前景如何?将来会有更多的突破并带来更多的诺贝尔奖吗?

麦克唐纳:当然,中微子物理学领域将来很有可能出现更多的诺贝尔奖。我们比以前更了解中微子,但还有很多性质不清楚,比如中微子质量顺序,正如我之前提到的江门实验要进行的测量。还有一个问题就是中微子质量的绝对大小。将来关于中微子质量的探测可以在中国的四川锦屏地下实验室进行,它是世界上最深的地下实验室。当你进行的实验需要极低的放射性背景,锦屏地下实验室就是一个绝好的选择,它上面厚实的岩层可以高效地屏蔽宇宙线带来的干扰。我认为,中国正在寻找最佳的机会来获取关于中微子基本性质的新知识。

三、CEPC和大科学装置

记者:您知道王贻芳教授提出的环形正负电子对撞机(CEPC)吗?您从科学媒体或加拿大的媒体上听说过吗?

麦克唐纳:我不是从媒体上听说的,而是从学术会议上科学家之间的讨论中了解的。任何具有科学背景的人都能理解这是一个非常好的未来规划。中国已经在中微子物理学研究领域取得重大成果,还有我刚才参观的北京正负电子对撞机和北京谱仪实验也得到了非常有意义和影响力的结果。有了在这些领域中建立起来的自信心,中国人相信自己可以与国际同行一起逐步建造一个大型的对撞机实验,可以研究那些超出日内瓦的大型强子对撞机探测能力的新物理。我们已经对标准模型研究得很充分,现在希望可以超越它,去理解宇宙在最微观层次上的新性质。中国提出了一个系

列的加速器方案,开始是正负电子在特定的能量区域进行对撞,最终升级成为最大的质子对撞机。从科学上看,这是一个非常有意义的方案。如果中国将来决定沿着这个方向前进,那将是对物理学发展极有益处的。

记者:去年,中国国内掀起一场关于CEPC的广泛讨论,其中一个负面的评价就是CEPC的造价太高且可能的科学产出不值得投入大量资金。您是如何判断科研投入和产出的?

麦克唐纳:我觉得,对任何一个具备自然科学和技术优势的国家来讲,比如说有能力开发新技术或提出新颖的想法,他们都应该认真地考虑把总体科研经费的小部分投入在有高回报的领域。举例来讲,对于未来的大型对撞机,这个高回报就是弄清楚粒子物理学到底走向何方。首先,作为这个项目的的第一步,我们需要对新近发现的希格斯粒子的性质做精确的测量,寻找实验观测与理论预言之间的差异。下一步,他们将建造质子对撞机,质心能量是欧洲核子中心的大型强子对撞机的十倍。根据以往的经验,有很多重要的发现就是通过逐步提升对撞机的质心能完成的,因为新的基本粒子的质量太重导致无法在之前的对撞机上产生。所以,我认为如果这个对撞机的计划最终得以实施的话,它具有很大的潜力为我们提供新的线索。

记者:您认为CEPC值得投资吗?

麦克唐纳:我想这是政府部门应该作的决定。作为科学家,我们都认为没有什么比不断地努力去理解自然界更重要,所以很难想出一个比世间万物的微观构成和基本规律更基础的领域。只有弄清物质的基本构成和相互作用规律之后,你才有能力去理解我们从何处来,因为组成我们人体本身的物质元素就是在宇宙大爆炸之后通过这些基本规律逐步产生的。

记者:SNO实验的情况如何?它应该是加拿大在科学项目上一个巨大投资吧?

麦克唐纳:在我们开始做SNO实验的时候,实验的投资规模已经超出任何一个基金机构可以资助的范围,但是不超过政府总的科研投入的百分之一。我们做的第一件事就是拟定一份项目提案用

作同行评议。这也是推动科学项目的标准程序,因为你需要咨询在行的专家,由他们来判断这个实验是否值得做。你需要很多人来表达他们的意见,由于观点不尽相同,经过讨论最终达成一致。得到正面的同行评议之后,我们还要说服政府加大对基金机构的投入来资助项目。我们当时有非常强的同行评议建议,表明SNO实验确实有巨大的科学意义而且想法很新颖,可以推动基础科学的发展。因此,政府最终决定支持我们的项目。

记者:当时有没有来自其他领域的科学家或公众的反对意见?

麦克唐纳:对于政府的科研经费应该投资在什么地方这个问题,我想每个科学家可能都会认为自己的研究领域是最合适的地方。这也是他们为什么还在那个领域工作的原因,因为他们对其最感兴趣。不过,一般来讲,科学家都是支持通过同行评议来做最后决定的。如果有强有力的同行评议意见,我想科学家们都会尊重某个领域的专家对其领域的科学项目所作的评判。这也是科学不断前进的方式。

记者:您是怎么说服加拿大的基金机构来资助SNO、SNOLab和SNO+项目的?

麦克唐纳:基本上还是同行评议。就拿SNO来说,我们提出SNO项目之后就得到一个非常正面且强烈的同行评议建议。这大概是1988或1989年左右。但是基金机构却说“我们还没有足够的年度预算来支持你们的项目。”因此,我们找到所有可能提供经费资助的政府机构,跟他们讲:同行评议意见表明SNO项目可以让加拿大在该领域达到世界领先水平,你们应该仔细考虑一下,因为同行评议说“我们认为这是一个好想法。”我们也可以看看项目对经济发展的影响。一般来说,这样的大型科学项目都有很高的经济价值,它们会带动项目实施区域的经济发展和新技术研发。最终,他们接受这些建议并下拨了经费。我认为他们对实验的结果也很满意。

四、基础科学与创新

记者:作为科学家,您如何理解创新?

麦克唐纳:创新的定义有很多种,最简单的就是研制出新的而且有价值的东西。当然,价值的含义也很广泛。我不久前正好参加了一个在加拿大举行的研讨会,会议的主题是如何将基础科学研究融入到国家的创新活动当中。我们最后的决定是需要平衡支持基础科学研究和成果转化的经费投入。如果没有足够的基础科学投入,你就不能训练下一代的青年人才,使得他们不仅懂得如何研制新的产品,还理解世界上最新的科技进展。任何一个国家都不可能产生所有重要的想法,所以你必须要持续地培养自己国家的年轻人,保证他们能够理解国际上在基础科学层次上取得的最新突破。如果世界上其他地方的科学进展对你们国家的公司很有用处,那么你就可以利用它来制造新的设备或其他对社会有价值的产品。政府的经费投入需要在基础科学和对产品研发的支持之间找到一个平衡点。通常来讲,基础科学的经费都是政府投入的,这也是要让政府部门了解这些信息的原因。

记者:那么大科学项目在创新中的扮演什么角色?

麦克唐纳:大科学项目都是为了解决基础科学的前沿问题。有时候,我们很难判断今天的基础科学的研究成果能否转化成明天的工业产品。通常情况下,它们不能。

不过,在21世纪之交,美国《时代》周刊在其杂志封面上登载了20世纪最重要的人物。这个人就是爱因斯坦,但并不是因为他发明了激光、全球定位系统、计算机或诸如此类的高科技。真正的原因是,爱因斯坦在基础科学领域的重大贡献给整个二十世纪的技术发展带来了翻天覆地的变化。

