

改革开放四十周年纪念特刊·科技巨变

挑战认知极限,四夸克物质“现出原形”

无“微”不至,中国发现惊艳全球

本报记者 高博

勤劳聪明的中国人曾为世界科学作出巨大贡献。但我们也不得不遗憾地承认:现代物理学教科书中的中国名字并不多。

改革开放四十年来,随着国力不断增强,中国基础物理学研究持续深入,成就日益显赫。从北京正负电子对撞机到大亚湾中微子实验,中国已成为世界物理学界的最重要力量之一,并被寄望成为下一个基础物理学中心。

光影档案



1984年10月7日,邓小平同志为北京正负电子对撞机奠基。



20世纪80年代完成建造的第一代北京谱仪。



第三代北京谱仪于2008年投入运行,图为科研人员正在安装北京谱仪的主漂移室。

三十年前:三次“不再犹豫”拉开序幕

1988年北京正负电子对撞机(BEPC)的首次成功对撞,让中国在世界高能物理界拥有了一席之地。中国国籍的物理学家重新回到世界物理学最前沿,也是从它开始的。

探索原子核尺寸以下的物理规律,就得把原子核击碎。科学家想到,让两颗“炮弹”对撞——高速质子流或者电子流。对撞机(也叫粒子加速器)就是专干这个的,对撞能量之高不亚于火车头对撞,却集中于原子核大小的空间里,使能量密度高到变态,所以溅射出一些奇怪的粒子。但要让两束细过头发丝、快如闪电的粒子相撞,需要复杂的机器。

上世纪60年代,中国科学家几次设计和提出了对撞机方案,均未实施;1972年国务院“七五三”工程计划建造400亿电子伏质子同步加速器,但因故搁浅;1977年的“八七工程”计划在1987年建成4000亿电子伏质子同步加速器,但在1980年的国民经济调整中,方案下马。

由于研制对撞机费用昂贵,当时只有美国、欧洲和日本才造得起。在上世纪80年代初的中国,要拿出一笔钱来为人类共同的科学事业作贡献,的确有些捉襟见肘。

邓小平的支持,对于中国基础物理学家而言,无异于一场及时雨。

二十年前:跻身粒子物理研究前沿

位于北京玉泉路的BEPC,外形像一个羽毛球拍。它由注入器、储存环、北京谱仪和同步辐射装置四大部分组成,占地5万平方米。

1984年开建的BEPC,1988年就试运行成功,成为世界八大高能加速器之一,这让世人惊叹于中国效率。王贻芳介绍,BEPC是当时国际上 τ - τ 物理性能最好的对撞机。它让中国能独立设计建造加速器、探测器并开展物理实验研究,中国由此在20—50亿电子伏特能区的 τ 物理、 τ 物理、 τ 偶素和量子色动力学检验方面走在世界前列。BEPC的主要成就包括 τ 轻子质量的精确测量、20—50亿电子伏特能区正负电子对撞强子反应截面(R值)的精确测量、发现“质子一反质子”质量阈值处新共振态、发现X(1835)新粒子……

2009年7月,北京正负电子对撞机完成重大改造,成为国际上最先进的双环对撞机之一。BEPC二代的成功使中国高能物理在加速器和探测器技术上实现跨越式发展,保持发展了中国在物理学方面的国际领先优势。BEPC二代是“一机两用”,包括高6米重

十年前:捕获微观世界“隐士”

如今,已经不再是物理学家灵光一闪、高呼“发现了”的时代。微观世界的新发现,必须依靠大型实验装置,需要几百个人运转磁铁、制冷机、粒子探测器、电路板和计算机。

新世纪以来,中国科学家无法满足干在BEPC上对撞粒子。他们希望用更有创意的方式,窥探微观世界的秘密。在深圳大亚湾核电站边的中微子实验正是他们的一个新切口。中微子属于轻子,共3种。它不带电,极其微小,以光的速度飞行,且身怀“变身术”。无论在微观的粒子世界,还是在宏观的宇宙起源及演化中,中微子扮演的角色都非同一般。

大亚湾中微子实验中,中国科学家掘了一个山洞,在释放出大量中微子的核反应堆附近,安装了几个巨大的检测装置。它们距离反应堆远近不同,这样根据测得中微子数量的差异,就可知有多少中微子在行进中从一个“亚种”变成另一个。几百米厚的山体岩石,可以尽量阻挡来自天空的粒子干扰。

2012年3月,大亚湾实验凭借高质量的数据分析,在国际竞赛中率先撞线。中微子第三种振荡的确认,引起了物理学界的兴奋,许多人认为这是半个多世纪以来中国人最重要的实验物理学成果。位于广东江门的更大规模的

时雨。

1981年12月,中科院高能物理所递交给邓小平和胡耀邦一份报告,写道:“请求中央批准我们12月5日上报的正负电子对撞机方案……”抬头还加上了万里和姚依林两位副总理。邓小平书面批示报告称:“这项工程已进行到这个程度,不宜中断,我赞成加以批准,不再犹豫。”

当月,邓小平在会见热心于中美高能物理合作的李政道教授前,又对中科院党组书记李昌说:“要坚持,下决心,不要再犹豫了。”在谈到工程进度和经费时,他对姚依林说:“5年为期,经费要放宽一些,不要再犹豫不决了,这个益处是很大的。”

正是有了这3次“不再犹豫”,北京正负电子对撞机工程得以启动。1984年10月,邓小平为BEPC的奠基石培上第一锹土,并说:“我相信这件事不会错。”

2018年,BEPC已度过了它30岁的生日。中科院高能物理所所长王贻芳感慨:“今天看来,建造BEPC是当时所能做的最好选择,它让中国在国际高能物理领域占领一席之地,培养了一支具有国际水平的队伍,也推动了国内其他大科学装置的建设。”

500吨的北京谱仪以及北京同步辐射装置,拥有长202米的直线加速器、周长240米的圆形加速器(粒子在对撞之前一圈圈热身的跑道),围绕储存环的是同步辐射实验装置。

2013年,新一代的北京谱仪,有了一个让物理学界兴奋的发现:某种粒子是由4个夸克组成的。在已知的物质世界中,强子(比如中子、质子与各种介子)均是由2个或3个夸克组成的——传统夸克模型认为,介子由1个夸克和1个反夸克组成,中子和质子是由3个夸克或3个反夸克组成。而2013年北京谱仪却发现一个命名为Zc(3900)的结构,是四个夸克组成的,因而成为当年基础物理学界的大新闻。

2014年,北京谱仪又观测到一个新粒子Zc(4025),也至少含有4个夸克,和Zc(3900)非常相似,极可能是质量较高的激发态。这两个粒子的发现,为确认自然界中存在超出常规重子与介子的新物质形态提供了重要的实验证据,对于完善物质最基本结构的理解有重要意义。

中微子实验也正在建设,它可以测出中微子更多的参数,比如中微子在“对称性破坏”方面的表现,由此帮助解答一个著名物理难题:为何宇宙中的物质比反物质要多,而非一样多?

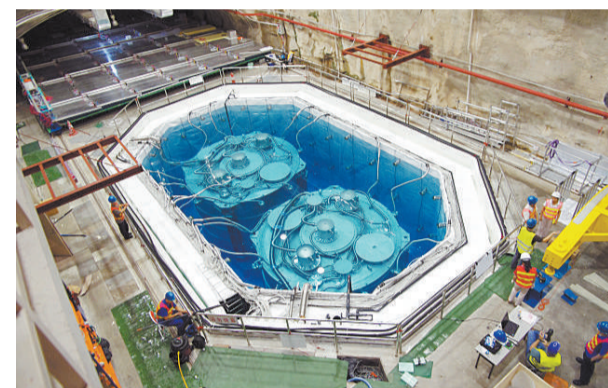
除此以外,中国近年还投用了更多基础物理学装置,比如硬X射线调制望远镜和中国空间站上的粒子探测器。未来,也会有越来越多的重磅论文出自中国。

2016年,舆论热议是否应上马新的加速器“环形正负电子对撞机”,中国的高能物理学事业也前所未有的受到公众关注。如今新加速器项目仍在预研阶段,但它已成功将世界物理学界的视线吸引过来。中国之于世界基础物理学的意义,正日益举足轻重。

亲历

16小时工作制 让中国科学家后来居上

本报记者 高博



中微子探测器成功安装在巨型水池之中

谁能先证实中微子的第三种震荡模式?大亚湾中微子实验是以后来者的姿态加入多国竞争的。法国的CHOOZ实验和韩国的RENO实验,在外部条件和设计精度上不如大亚湾,但3个实验的目的完全一致,而且后来事实证明,最关键的数据 θ_{13} 不需要这么高的精度也有可能测出结果,这样竞争局势就更加激烈了。

2011年6月,日本的中微子实验装置T2K的阶段性观测数据显示: θ_{13} 不为零的概率为2.5倍标准偏差。按照惯例,3倍标准偏差以下只能叫“迹象”,超过5倍标准偏差才叫“发现”。

日本仓促发布结果,是因为3月的地震破坏了给T2K提供中微子源的加速器,一时又修不好。随后,美国的MINOS实验也跟着放出了非正式的报告, θ_{13} 不为零的概率为1.7倍标准偏差。法国也报告了1.7倍标准偏差的结果。

正是实验装置建设阶段的16个小时工作制,以及实验阶段的巧妙构思夺回了时间,让大亚湾实验组抢先撞线。

中国虽然是后来者,但建设速度超出预期。有人回忆说,装配大厅的水泥地面建设完工后,美国科学家趴在地上一寸一寸用硬木敲击、倾听,保证地面没有一点空隙,以确信如此快速完成的工程是否有瑕疵,结果他们发现“中国人的施工质量无可挑剔”。

为了抢时间,大亚湾的实验厅刚挖好,设备安装就开始了。新挖好的岩洞内又热又潮湿,进去20分钟就浑身湿透。大家将5个超大罐子搬进液闪大厅,每天回到驻地后,甚至累得“只能躺着洗个凉水澡”。有一次,装配探测器的现场,吊车用的一个螺栓坏了,由于是特制的,必须从河南取来,但快递又来不及。为了不影晌整个工程各方的施工进度,马上派人坐飞机去取,在机场完成交接后即刻返回。

中心探测器在洞外组装好之后,搭载一辆万向运输车到试验大厅里。探测器相对较小,这样开掘隧道就不必太宽,可以节约成本。液闪则在洞里调平和灌装。

为了抢出成果,实验人员修改计划,不等8个探测器全部到位,就以6个探测器提前累积数据。在数据分析环节,勤奋的中国人也占据了优势。每天的实验数据多达250GB,第一时间传输到中科院高能所和世界各地的合作单位,而中方的分析是最快的。成果发布时有中美双方结果的相互校验,而发表的文章中采用的正式结果是中方的。其物理分析的高速度、高水平让国际同行印象深刻。

2012年3月,大亚湾实验率先宣布发现第三种中微子震荡。论证4年,施工3年,安装实验设施1年,取数55天,分析只用半个月,这就是大亚湾实验迄今的历程。在中科院高能所宣布实验结果后3周,韩国同行发布了类似的结果。

正是实验装置建设阶段的16个小时工作制,以及实验阶段的巧妙构思夺回了时间,让大亚湾实验组抢先撞线。

让世人称奇的速度背后,是超乎寻常的节俭——虽说有1.7亿元的经费,挖3000多米的山下隧道,并在山体内建5个实验大厅的钱也包括在内。要知道地铁隧道成本是1公里1亿元,可见大亚湾人的精打细算。为了节约设备运费、人员出差费,地面装配大厅内布置上借来的桌椅,就是国际会议的场所。王贻芳说,当时的大亚湾工程经常强调,100块钱如果只做了80块钱的事,就是浪费了,做成120块钱的事,才像一个科学家。

(本版图片来源于网络)