

众志成城

談談高能物理实验

郁忠强

电视或报刊上介绍一个著名科学家的时候,我们常可以看见他们坐在台灯下翻阅着书籍,孜孜不倦地写着文稿,或是穿着白大褂和一、二个助手在实验室中进行着观察、记录、讨论……。以往我们习惯地听到某人发现了什么新现象,例如:一九一一年卢瑟福作了 α 粒子散射实验发现了原子核;一九三六年安德逊在宇宙线中发现了 μ 介子;等等。然而,近代高能物理实验似乎在发生着明显的变化,著名物理学家的名字常常被一个集体——实验组所代替。譬如说,一九七六年美国 SLAC 的 SPEAR 正负电子对撞机上 MARK-II 组发现了矢量介子 D 粒子。一九七九年秋天,在美国费米国家实验室召开的国际轻子光子会议上,西德 DESY 的 PETRA 正负电子对撞机上实验的四个组同时宣布发现了三喷注现象,间接地给出了胶子存在的实验证据,支持了量子色动力学中关于胶子的论证,这无疑是粒子物理学上的重大进展。这样重要的发现是谁完成的呢?当时国际上很多报刊作了科学的报道,是 PETRA 上四个实验组来自世界各国的约三百位物理学家。当然这并不排斥每个实验组领导人的杰出贡献。可以看出,作为近代物理的前沿——高能物理实验的活动,已经由集体或者说是一个集团的活动代替了以某一科学家为主的个人的活动。今年年初,西欧中心的 UA1 组和 UA2 组宣布发现了荷电 W^+ 、 W^- 粒子,六月又宣布发现了 Z^0 粒子,这一新发现再次证实了电磁力和弱力统一的理论,引起了各国科学家的极大兴趣。实验是在西欧中心的质子和反质子对撞机 (SPS) 上完成的,对撞机质心系能量为 540 京电子伏,周长约七公里,这是目前世界上能量最高的加速器。在这样高能量的对撞机上做质子和反质子的对撞实验,寻找 W^+ 、 W^- 和 Z^0 粒子,要有十分庞大的实验装置和繁复的分析,更重要的是必须有一支高水平的物理学家队伍。以 UA1 组为例,它是由八个国家十二个实验室的约一百三十位物理学家组成。他们中有著名的教授、博士和许多优秀的研究生,他们大多具有丰富的高能物理实验的经验,曾参加过多个高能物理实验。他们用的探测装置包括中心漂移室、电磁簇射量能器、 μ 子探测器、以及复杂的触发判选系统和在线数据收集系统,总重量达二千吨。在十亿次质子和反质子的碰撞中观察到了五个 $W^\pm$ 粒子事件和五个 Z^0 粒子事件。从上述看出,这样大规模的实验决不是一个人或

几个人能完成的,只有靠集体的智慧,靠一大批来自各国的物理学家的通力合作,还要靠更多的具有各种专长的工程技术人员的支持。有人将高能物理实验称为“大科学”,这不仅是指实验规模、耗资和人力,而且它还带有工程技术的规模和特点,具有比较明确的物理目标、设备的安装和调试、精确的经费预算和工程进展的日程表,并要通过反复的论证和答辨。人们不禁要问:为什么在高能物理实验中会形成如此大规模的国际合作?高能物理实验是如何进行的?上百位物理学家在一起是如何进行分工合作的?这对于有志于高能物理实验的青年人也许是感兴趣的。

一、大规模的国际合作

像 UA1 这样一个高能物理实验组需要巨额的经费(数千万美元),要有一支具有各方面专长的物理学家队伍,是世界上任何一个实验室所不可能具备的。另外,目前世界上只有有限的几个研究中心具有几台高能加速器提供使用,特别像 SPS 这样世界上能量最高的质子和反质子对撞机,只有两个对撞点,允许同时做二个实验,而全世界成千上万名从事高能物理实验的物理学家都注视着这物理学上最前沿的工作,都想在这具有历史意义的伟大事件中立下汗马功劳。唯一的解决办法就是由很多国家的很多实验室进行共同合作,吸收尽可能多的物理学家参加。所以目前国际上从事高能物理实验大多是规模较大的合作组。他们来自不同的民族,有着不同的信仰和习俗,但他们有着一个共同的物理追求,他们密切配合,勤奋工作,为达到共同的物理目标在一起奋斗多年。

二、高能物理实验的三个阶段

一个高能物理实验合作组和世界上任何事物一样会经历它的诞生、成长、成熟,最后必然衰亡。按实验工作的过程大致可以分成三个阶段:建立合作组、建造实验装置和取数据并进行物理分析。

合作组的建立是和提实验建议书联系在一起的。当一个新的加速器正在建造,某一位有名望的物理学家或实验室邀请有兴趣的同事、朋友或其它实验室在一起讨论,提出一个物理实验的设想,经过初步的计算和预制研究提出一份实验建议书,通过反复的论证和答辨,最后得到有关委员会的批准,合作组正式得到承认。从酝酿到实验建议书被批准,可能要经过一、二年的时间,这是一个对物理目标和物理实验设想逐渐完

普的过程,也是合作组逐渐充实力量和获得财政支持的过程。最终的建议书将包括以下内容:物理目标、实验装置设计和有关的计算、各部件的性能指标、预制研究的实验结果、初步的蒙特卡洛模拟计算、经费预算、以及时间进度表等等。

合作组的实验建议书正式被批准后,就着手开始建造实验装置,用于正负电子对撞实验的探测装置一般有如下探测器及设备:径迹漂移室、电磁簇射量能器、飞行时间计数器、强子量能器、 μ 子计数器、亮度监测器、螺旋管磁场、触发判选系统以及数据获取和收集系统等等。参加合作组的各实验室分别承担其中一、二项工作,一般他们分别在各自的实验室中进行,从设计、加工、安装、调试,然后到试验束上进行刻度。待探测器全部完成后,运至加速器所在的中心实验室进行总体安装,在安装过程中要求严格的定位。安装完毕后首先进行宇宙线实验,并进行刻度。等加速器一开始运行给出束流,探测装置立即投入取数据。建立探测装置的过程大致要化二至五年时间,这个阶段的时间表是按加速器什么时候出束制订的,探测装置必须在加速器出束前就绪,否则就有可能失去首先发现某些新现象的机会。这个阶段的工作是十分艰苦的,要解决探测器研制和安装中的很多难题,有很多繁杂而重复的工作,例如上千支光电倍增管的调试;径迹漂移室中数千根丝的拉丝和测试;数千台电子学插件的检验、连接和调试;安装数千根电缆;贴数万个标签等等。越临近加速器出束,工作越加紧张,很多人常常日以继夜地工作。解决一个又一个没有预料到的难题。

待加速器一出束,人们精神为之振奋,一扫长期苦战的劳累,通力投入到第一批数据的分析工作中去。这时,合作组成员都集中到了中心实验室,日夜值班取数据。同时进行紧张的数据分析。每个物理学家都愿意从事最后的物理分析,希望从自己的分析中发现新粒子新现象,但遗憾的是还有大量的基础工作要作。为了做到苦乐均匀,一般人人都必须参加上述基础工作,按惯例,教授也要参加值班取数据。正负电子对撞实验的物理分析大致包括以下几个方面:量子电动力学的检验;弱电统一理论的试验;强子产生和量子色动力学的检验;矢量介子和 π 轻子性质的研究;新粒子的寻找等等。每一个成员可从事其中一、二项工作,一般说来,对物理分析的工作有较大的自由度,每个人可以工作在他们自己感兴趣的方面。合作组内鼓励新的思想、新的刻度方法和新的分析方法。这一阶段是合作组出成果的时期,是最活跃、也是最激动人心的时期。这可能维持三至五年,也许更长,这决定于加速器的运行计划,也决定于是否有新的思想。

三、合作组内部事务

合作组在长期的工作中为了达到预期的物理目标会遇到各种各样的问题,要处理各种难题和矛盾。譬

如说,有人提出将一种新原理的探测器用于实验装置上,预期可提高某物理量的测量精度,但需要化一定的人力和财力进行试验;或者有人提出对原设计方案进行较大的改进;等等。什么是处理这些问题的原则呢?可以概括为三点,即合作组的三要素:经费、物理和时间。由于高能物理实验庞大的耗资,办任何事首先取决于经费;科学研究的任务在于有所发现,决定任何事情必须服从于物理的需要;在物理学上的新发现,取得第一才是有意义的,所以时间是研究工作的生命。这三个因素相互依赖相互牵涉在一起的,所以处理问题必须全面衡量这三个因素,这是一个高能物理实验组成败的关键。

合作组的精神来自于共同的物理追求,来自于各实验室之间的信任和相互的通讯。合作精神的破坏常常是由于坏的通讯。如果方案有什么变化,试验有什么进展,时间进度表有变化;……必须把所有的讯息及时通知到每个实验室和个人。否则就会影响工作中的配合,甚至造成不必要的纠纷。重要的是适时地召开合作组会,再加上尽可能多的通讯渠道——访问、信件、电话等等。特别要重视备忘录的作用,有关设计参数的修改、模型试验结果、束流试验结果、会议纪要、日程安排等都必须印发备忘录通知到有关人员,便于每一个人安排工作。大多数合作组倾向于六至八星期开一次全体合作组会,会议太频繁,步子变得太小,化在会议准备的时间太多。当实验装置进入安装阶段和物理分析阶段,大部分人都集中到加速器所在的中心实验室。会议可以频繁一些。

四、竞争和合作

在高能物理领域内竞争是激烈的。合作组之间、合作组内实验室之间、个人之间均存在着激烈的竞争。合作不排斥竞争,竞争不影响充分的合作,缺乏竞争就缺乏生命力。每个人都懂得只有实验取得成功才有个人的科学前程,每个人必须对合作组作出应有的贡献。竞争就是要充分发挥自己的聪明才智,更加勤奋工作,对合作组作更大的贡献。不浇水光摘桃的思想被认为是可耻的,损害别人工作的行为是决不允许的,会受到公开的谴责。

一般说,高能物理实验合作组成员之间的个人关系是好的,当然会有各种各样的矛盾。但和别的领域相比,也许问题要小一些,原因可能是由高能物理实验的特点所决定的。它处于科学发展的前沿,是一个十分活跃而竞争激烈的领域,只有具有极大热情的人才会选择这个职业,而同具有热情的人一起工作和同缺乏热情的人一起工作是很不相同的。大家都感觉到同处于一个历史事件之中,大家都愿意在科学上有所发现,合作组的成败和每个成员的科学前程是密切相关的,他们在科学上的前途是连结在一起的。他们在竞争中发展着他们之间的友谊。