

SLAC 二十五年的故事

1982年8月15日,美国斯坦福直线加速器中心(简称 SLAC)在它的大草坪上举行了一次别开生面的庆祝会——“多重纪念日”。两千多位来宾参加了这一盛会,美国总统科学顾问也参加了这次盛会。主席台上飘扬着几十个与 SLAC 有联系的国家的国旗,中华人民共和国的五星红旗也在那里高高飘扬。

科学家们喜欢对事物下明确的定义,可是对一个科学实验室的“生日”下定义却是一件不太容易的事情。“多重纪念日”的内容包括:“M 计划”二十五周年;美国政府与斯坦福大学签订建造两英里长电子直线加速器的合同二十周年;直线加速器达到 20GeV 十五周年;斯比厄运行十周年和佩泼破土五周年。

SLAC 座落在美国西海岸加利福尼亚州旧金山海湾地区,毗邻斯坦福大学校园。两英里长的直线加速器自西向东,穿过起伏的岗峦。连接旧金山市和圣河塞市的高速公路拦腰跨越直线加速器,飞驰在公路上的人们可以对这雄伟而又奇特的实验设备作惊鸿一瞥。

这个至今依旧保持着电子直线加速器世界冠军称号的实验室在斯坦福大学附近发展起来并非偶然,而它的故事却要要从二十五年前说起……。

序幕——“M 计划”

1947年,斯坦福物理学教授威廉·享生建造了世界上第一台电子直线加速器——“马克 I”。五十年代初,在享生死后,以他命名的物理系实验室由凡林的学生金斯顿主持,建造了电子直线加速器——“马克 II”,达到了 1GeV 的能量。物理学教授霍夫斯塔特在这台加速器上完成了电子散射实验,为揭示核子的内部结构作出了重大贡献而荣获 1961 年的诺贝尔物理学奖。由于“马克 II”在运行和应用二方面都十分成功,霍夫斯塔特建议考虑建造十倍或二十倍于“马克 II”的加速器。物理系其它许多名教授也参与了这项建议。

1956年10月10日,在潘诺夫斯基家中举行了“M 计划”的第一次会议。字母 M 是英语单词“Monster”(意为巨大的怪兽)的头一个字母。这次会议的记录保存着这群第一流物理学家的一些有趣想法:“与会者都是志愿的,并且利用他们自己的时间,因为这个计划尚无任何经费支持……”,科学家们尽管身无分文,却是雄心勃勃,主张“如果这个计划实现,在行政上它应当与物理系及享生实验室分开。……,大加速器的目标是基础物理研究,因此,不应当有任何保密措施,……,应该对合格的访问研究者开放。”1957年4月,斯坦福大学正式向联邦政府递交了这个计划的建议书。“多重纪念日”中的“M 计划”二十五周年就是指这件事

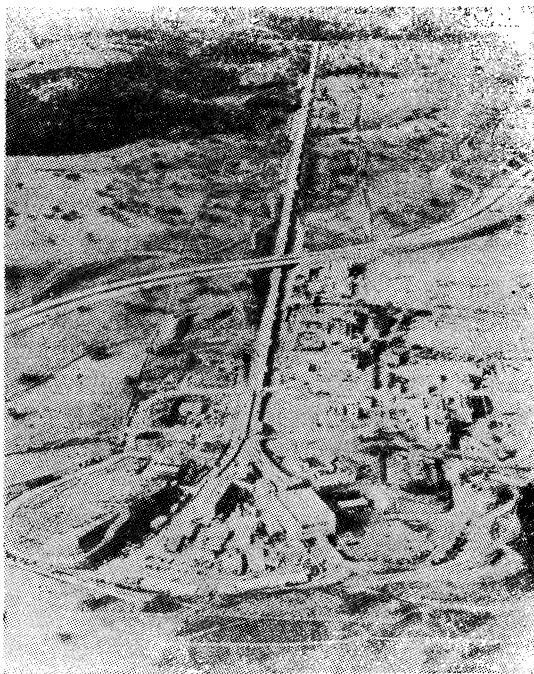


图1 SLAC 全景。伸展到远方的是两英里长直线加速器,在环形公路上的六个建筑为佩泼对撞区实验厅,佩泼环在公路的地下。

1962年7月,两英里直线加速器破土动工。

初战告捷——两英里长直线加速器及电子散射实验

加速器的工程进展顺利,1965年12月加速器组装完毕,1966年5月,束流第一次通过加速器的两英里路程。1967年1月,达到 20.16 GeV 的能量。

这台加速器全长三千米的加速管安置在 7.5 米深的隧道内,隧道截面为 3 米高,3.3 米宽。加速管每 12 米为一个组件,每个组件又分四节,每节由 86 个中空铜盘和 86 个中空铜柱相间组成,整个加速器共有八万多个铜盘和八万多个铜柱。每个组件座在长度相等、直径 60 厘米的铝筒上,每段铝筒两端有菲涅耳波带板作准直。整个三千米管道的准直误差为 ± 1 毫米。与隧道相平行,地面上有一个同样长度、高 5 米宽 9 米的

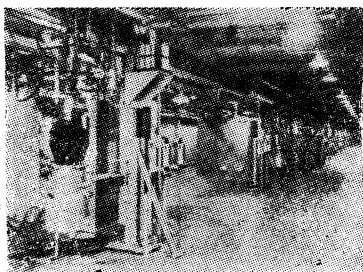


图2 “速调管长廊。”左前方形似中国鼓的是速调管,每隔 12 米一个。

建筑,里面放置 245 个速调管。每个速调管的峰值功率 24 兆瓦,用四根波导管穿透 7.5 米厚的土层将射频能量送到相应的加速器组件中去。人们可以在“速调管

长廊”上漫步几十分钟,以12米为周期遇到一个个形似中国鼓的速调管,似乎前无头后无尾。产生绚丽多姿物理结果的设备竟是如此单调!

在两英里长加速器的末端,电子束经过长三百米的开关区而进入实验区。实验区内矗立着两座结实的建筑——终端站A和终端站B。在终端站B进行的是次级粒子束的实验,电子打靶产生的 π 束、 K 束被引入实验装置。六十年代后期,围绕终端站B又建起了40英寸液氢泡室,LASS(大孔径螺线管谱仪)等实验设施。而在终端站A,进行的是高能电子在固定靶上的散射实验。那里放着三个大小不同的磁谱仪,其中最大的一个长45米,重达三千吨。每个谱仪都可以在铁轨上转动,以接受散射到不同角度的不同能量的粒子。实际上这个实验是霍夫斯塔将电子-核子散射实验的继续。

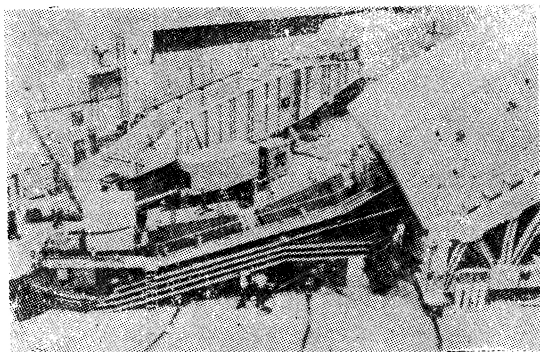


图3 终端站A内进行电子-核子散射实验的磁谱仪。

实验结果令人振奋。它测定了质子和中子对电子的非弹性散射截面,测量结果被概括为一种名为“无标度”的性质。尽管用严格的语言来叙述“无标度性”是相当难懂的,定性的解释却十分简单: 如果将电子-核子非弹性散射看成电子与核子内的极小组成单元的弹性散射,“无标度性”就可以理解。从而,终端站A的实验说明核子是由更小的粒子组成的,在这个基础上提出了部分子模型理论。将核子结构的研究推进了一大步。

两英里长加速器显示了威力,使得SLAL的声誉大增,投入了新的战斗。

高潮迭起——斯比厄和 ϕ 粒子的发现

就在直线加速器及其实验搞得热火朝天的时候,SLAC的另一些物理学家已在考虑新的正负电子对撞机了。

伯顿·里克特,1956年获得博士学位后来到斯坦福大学,参加了1958年在校园里斯坦福与普林斯顿大学合作的500 MeV的正负电子对撞机的建造。此后,他对正负电子对撞机倾注了极大的热忱。后来他说:“我一直被一个很自然的图象所吸引: 正电子和负电

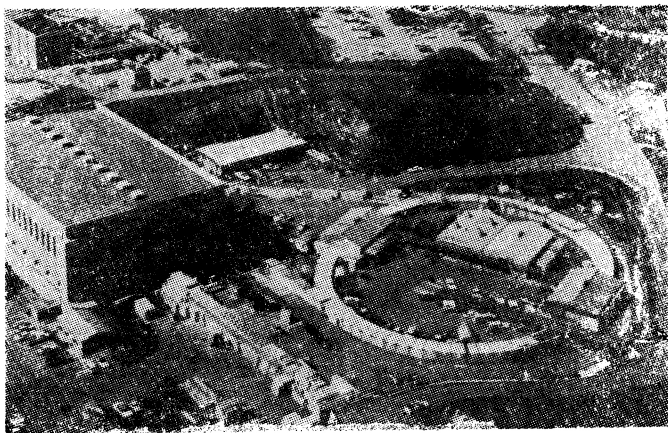


图4 终端站A及斯比厄外貌。

子,粒子和反粒子,它们湮灭并形成具有简单量子数的状态和巨大的能密度,由此可能产生出所有的基本粒子来。”一个朴素而坚定的信念支持他奋斗了十七年终于发现了 ϕ 粒子。

1972年斯比厄(SPEAR)投入运行。这个对撞机直径约70米,环内排列着140块磁铁。4GeV能量的正电子束及负电子束由直线加速器引出,按相反的方向注入环内,可以储存2—4小时。正负电子在东西两个实验厅发生对撞。

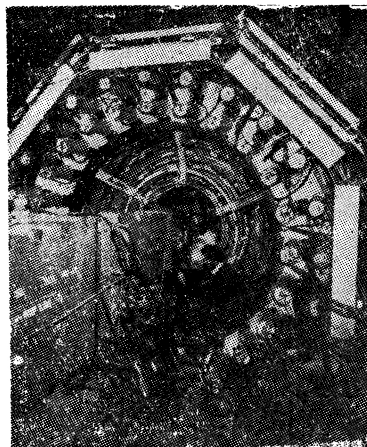


图5 发现 ϕ 粒子的“马克I”探测器。

初,斯比厄的物理实验开始。第一台探测器便是里克特及其合作者的“马克I”。——又是一个“马克I”——它象一个多层圆筒,从束流管向外依次为: 触发计数器、多线火花室、时间飞行计数器、螺线管线圈、闪烁体制成的簇射计数器、轭铁及 μ 子火花呈(图5)1974年11月,“马克I”合作组发现了 ϕ 粒子。里克特与发现J粒子(与 ϕ 为同一粒子而得到了不同的命名)的丁肇中共同获得1976年的诺贝尔物理奖。

绚烂的物理成果接踵而来。紧接着 ϕ 的发现,“马克I”合作组又发现了 ϕ 家族中的其他成员 ϕ' 和 ϕ'' 以及显含粲数的D介子。马丁·皮埃尔发现了 τ 重轻子。以后相继在斯比厄上作实验的“晶体球”合作组和“戴尔科”合作组也在 ϕ 粒子的辐射衰变, τ 重轻子的衰变分支比等方面取得了重要结果。

粲层子及 τ 重轻子的发现,使基本粒子物理发生了重大变革,人们甚至将由此产生的研究领域称为“新物理学”。而这么多的重要成果是在短短两、三年间在同一台机器上取得的。难怪里克特幽默地把价值五百三十万美元的斯比厄称为“物理学中最大的便宜货”。它的外貌不扬,容纳存储环的是用水泥板搭成的低矮建筑,两个实验厅远远看去很象当地农家的仓库。

沉闷的进展——佩泼及其实验设备

斯比厄的成绩激发了人们对于正、负电子对撞机的热情。七十年代后半期,SLAC 与劳伦斯伯克利实验室合作兴建了新的正、负电子对撞机——佩泼(PEP)。

佩泼与它的上一代斯比厄一样,也是从两英里长直线加速器引出正、负电子束,但是规模更大。它的直径 710 米,为斯比厄的十倍,而单束能量是 18 GeV,为斯比厄的四倍。它的正、负电子束各有三个束团,在它的圆形轨道的六个地方发生对撞。机器本身的投资为七千八百万美元。

幸运并不总是降临在同一群人的头上。斯比厄虽小,却是当时唯一可以实现如此高能量正、负电子对撞的设备;佩泼虽大,由于更多的人将兴趣转向对撞机,它有了强大的对手。差不多同时,西德的高能物理同行着手建造佩特拉——规模相似并工作在相同能区的正、负电子对撞机。1980 年夏天,佩泼投入运行,而在佩特拉上工作的物理学家早已在一年前就发表了第一批实验结果,以三喷注事例的拓扑形状有力地证明了胶子存在,摘走了这一能区物理的第一朵鲜花。美国人的领先地位受到挑战,佩泼的遭遇只是其中之一。

获得批准在佩泼六个对撞区进行第一期实验的装置有八个:有光荣历史的通用谱仪“马克 I”的改进型“马克 II”,配备契仑柯夫计数器、以测量电子见长的“戴耳科”(DELCO),拥有大体积的正比室、擅长测量 μ 子的“迈克”(MAC),重量居诸探测器之冠、用超导磁铁产生高磁场的“高分辨率谱仪”(HRS),运用最新探测技术、设备最精良、耗资最巨大的“时间投影室”(TPC),附在 TPC 两翼的双光子实验及两个较小的实验寻找自由层子和寻找磁单极子实验。

佩泼令人失望的不仅仅是它的姗姗来迟,物理学家没有在这个能区发现十分有趣的东西。本来,人们对佩泼(和佩特拉)所寄的最大期望是发现第六种层子——顶(Top)层子,从而完成理论家从粲层子及 τ 重轻子发现以来预言的三代层子和轻子的模型。顶层子的质量曾被预言为 15GeV 左右,然而这个六层子家族的最后一名成员却是“千呼万唤不出来”。也许是理论学家估计得不准,他们已将顶层子可能出现的能量上推到 60GeV 左右,这远远超出了佩泼的能量范围。也许,根本就不存在顶层子,那末理论就要作大的修改。不管怎么样,佩泼对此无能为力了。

“多重纪念日”的庆祝气氛已消逝,在热烈的赞扬引起的激动心情复归平静之后,人们可以恰如其分地回顾一下 SLAC 的二十五年。这里有执着的努力、睿智的决定和成功的喜悦,也有碌碌无为带来的沉闷、贻误时机而造成的遗憾。

如今,灰色的终端站 A 依然屹立,但已门庭冷落。曾为高能物理立下过汗马功劳的三个大谱仪躺在那里,犹如自然博物馆中的恐龙标本,供人凭吊那辉煌的过去。高能物理是一门前沿科学,而它的前沿又十分迅速地向前推进。斯比厄早已从作重大发现的“尖端武器”降到作一般课题的“常规装置”行列中来。“马克 II”和“戴耳科”等组的物理学家上“前线”——到能量更高的佩泼上去做实验去了,“晶体球”不久前搬到西德去做底层子物理的研究。另一群物理学家研究了“马克 II”的得失,精心设计了适合这一能区需求的“马克 III”探测器,目前已经安装完毕,准备在斯比厄上“安营扎寨”做后期的测量。此外,斯比厄还作为一个强大的同步辐射光源,支持了斯坦福同步辐射实验室。每年有几百人次在那里进行从材料、固体物理到分子生物学等广大领域的研究工作。

佩泼依旧是世界上最大的正、负电子对撞机之一。虽然人们对它的热情正在消减,不再期望这儿出现奇迹,但数百名物理学家仍然忙碌在六个对撞点上,继续着检验量子色动力学、喷注物理、重子形成机制等方面的研究。他们的努力是会得到“酬劳”的。

然而 SLAC 的领导人们总是希望再做出一些轰动性的、第一流的工作。于是,里克特主持的 SLC(SLAC 直线对撞机的简称)计划问世了。

SLC 预期在 1985 年完成,它的主要工程包括:(1)将目前已经提高到 30GeV 的直线加速器能量进一步提高到 50GeV;(2)建造两个半圆形的轨道,使 50GeV 的正、负电子束团进行一次性对撞。

建造 SLC 的主要目标有两个。第一,西欧中心正在雄心勃勃地建造单束能量 50GeV 的存储环型正、负电子对撞机莱泼(LEP),预期到 1987 年完成。100 GeV 的对撞能量,可以产生理论家们预言已久的中间玻色子 Z^0 。SLAC 希望利用直线加速器的优势,用较低的造价、较快的速度抢在莱泼之前实现 100GeV 的对撞能量,把这一极其重要的物理成果抢到手。第二,单次对撞机是一种颇新的机器类型。SLAC 希望在加速器技术方面完成一个突破,找到一个在大幅度提高正、负电子对撞机能量的同时,不至大幅度增加消耗射频功率的途径。

SLC 会给 SLAC 带来什么呢?历史将会给我们留下它的故事的。

(王秦杰)