



# 北京正负电子对撞机

## 和高能物理

叶 铭 汉

1988年10月24日上午,阳光明媚,雨后空气格外清新。位于北京西郊的中国科学院高能物理研究所内,繁花似锦,一派节日气象。取得首次对撞成功的广大科技人员迎来了邓小平、赵紫阳、杨尚昆、李鹏等国家领导人。四年前,就在这片土地上,邓小平同志亲临破土,开始了我国第一台高能加速器——北京正负电子对撞机的建设。在全国几百家工厂、研究所、高等院校上万名科技人员、工人、干部的通力合作下,经过四年的日夜奋战,终于取得了对撞成功。对于这项成就,党和国家给予了高度评价。1988年10月20日,人民日报称它为“这是我国继原子弹、氢弹爆炸成功、人造卫星上天之后,在高科技领域又一重大突破性成就。”又说:“它的建成和对撞成功,为我国粒子物理和同步辐射应用开辟了广阔的前景,揭开了我国高能物理研究的新篇章。”

北京正负电子对撞机(简称 BEPC)究竟能揭开什么样的高能物理研究新篇章呢?

早在两千多年前,我国就有“五行”的假说,认为世界上的万物都是由金、木、水、火、土五种最基本的物质所组成。古代哲学家的“基本物质”的想法在今天已经被科学研究所证实。二十世纪物理学的进展告诉我们,世界确实是由一些基本粒子组成的。现在已知的基本粒子有60种(其中“顶”夸克还有待于实验的证实),分为三大类。一类是传递基本粒子之间的作用的,统称媒介子,已知12种。它们是光子(传递电磁作用,质量为零);胶子(传递强作用,质量为零),胶子有8种; $W^+$ 、 $W^-$ 、 $Z^0$ (传递弱作用, $W$ 的质量为 $81\text{ GeV}/c^2$ , $Z$ 的质量为 $92\text{ GeV}/c^2$ )。另外两类分别名叫夸克(或称为层子)和轻子。夸克有6类,每类又分为三种“色”,各种又有它的反粒子,这样总共有 $6 \times 3 \times 2 = 36$ 种。轻子有6类,每类又有它的反粒子,总共 $6 \times 2 = 12$ 种。夸克和轻子都可以分为三代,见附表1。

对于组成万物的这些基本粒子,我们如果能够掌握它们的性质,它们之间的相互作用和运动规律,就有可能运用这些知识为人类服务。人类的发展历史非常清楚地告诉了我们这一真理。科学家对于电、磁现象的纯基础研究导致人类进入电气时代。对于原子核的

基础研究开创了原子能的应用。这种为了造福人类的信念一直推动着科学家们孜孜不倦地对于物质的基本结构进行探索。

表 1

	夸 克			轻 子				
	名称	符号	电荷	估计质量	名称	符号	电荷	估计质量
第一代	上	$u$	$\frac{2}{3}$	$4 \times 10^{-3}$	电子	$e^-$	-1	$5.1 \times 10^{-4}$
	下	$d$	$-\frac{1}{3}$	$7 \times 10^{-3}$	电子型中微子	$\nu_e$	0	$< 1.8 \times 10^{-6}$
第二代	粲	$c$	$\frac{2}{3}$	1.5	$\mu$ 子	$\mu^-$	-1	0.106
	奇	$s$	$-\frac{1}{3}$	0.2	$\mu$ 子型中微子	$\nu_\mu$	0	$< 2.5 \times 10^{-6}$
第三代	顶	$t$	$\frac{2}{3}$	?	$\tau$ 子	$\tau^-$	-1	1.78
	底	$b$	$-\frac{1}{3}$	5	$\tau$ 子型中微子	$\nu_\tau$	0	$< 7 \times 10^{-2}$

注: 电荷单位为电子电荷,质量单位为  $\text{GeV}/c^2$ 。

日常生活中所见的万物是由第一代夸克和轻子所组成的。第二代、第三代基本粒子产生于宇宙开始形成时或星球的剧烈演变中,现在有些还存在于宇宙线中。我们要研究它们,首先必须在地球的环境中实现当初宇宙形成时的条件,把粒子加速到高能,让它们碰撞,从而产生我们希望研究的基本粒子。

不同的基本粒子有不同的质量,产生它们也就需要有足够的能量。通常的办法用加速器把某种粒子(常用的是质子或电子)加速到高能,轰击一个固定的靶,使它与组成靶的粒子相互作用,以产生新的基本粒子。在一种名叫对撞机的加速器中,可同时加速两股粒子束团,让它们以相反的方向运动,在一定的位置上发生对撞。在对撞机中,两个对撞粒子的能量可以全

注:  $\text{GeV}$  为京电子伏,等于十亿电子伏, $c$  为光速, $\text{GeV}/c^2$  为高能物理常用的质量单位。

部转化为新粒子,而轰击固定靶的高能粒子,它的能量  $E$  只有一部分可以转化为新粒子,大致为  $\sqrt{E}$ . 因此,希望达到的能量愈高时,加速器必须采用对撞的方式,否则一大部分能量白白浪费掉了. 最近十年来,新建的高能加速器都是对撞机.

对撞机有两个重要指标,一是能量,这要针对所研究的对象来选定. 二是亮度. 亮度与对撞机内运动的两束粒子流的流强的乘积成正比,就是说对撞机所加速的粒子的流强愈强,亮度就愈大. 两束粒子对撞时产生某一种粒子的事例数与亮度成正比. 亮度愈大,在单位时间内产生的粒子愈多.

对撞机有一个特点,它只能在设计的特定能量附近的小范围内工作,超出这一范围,亮度急剧下降,无法工作. 因此为了研究不同种类的基本粒子,必须建造不同能量的对撞机,能量高的不能取代能量低的.

北京正负电子对撞机建造的主要目的之一就是进行了对于粲夸克和  $\tau$  轻子的研究,所以设计的能量是每束粒子(即电子或正电子)的能量从 1.5 到 2.8 GeV. 由粲夸克构成的  $J/\psi$  粒子和  $\tau$  轻子是在 1974 年和 1975 年发现的. 人们在这一能域内取得了不少重要成果,但是现在愈来愈认识到,在这方面还有很多重大问题没有解决. 我们可以以奇夸克作为对比,由奇夸克组成的  $K$  介子早在 1948 年就被发现了,人们对  $K$  介子的有关问题已经研究了四十年,直到今天,还在深入研究,甚至还有几个研究单位计划建造产生更强的  $K$  介子束的加速器. 关于粲夸克和  $\tau$  轻子的有关问题(称为粲物理和  $\tau$  轻子物理)的研究将是长时期的,北京正负电子对撞机在这领域内至少可以工作二十年以上.

现在在这领域工作的正负电子对撞机只有美国的 SPEAR 一台. 北京正负电子对撞机设计的亮度是 SPEAR 的 5 至 10 倍(随不同的能量而不同). SPEAR 虽已在这领域内工作了约七年,北京正负电子对撞机工作一年多一点所积累的数据就可以超过它. 另外,在打固定靶的加速器上也有人作粲物理工作,但有一定的局限性,不能全部取代对撞机. 在可以预见的至少五年内,北京正负电子对撞机如果达到了设计的亮度,将是在这一能量领域内性能最好的一台对撞机.

人们很关心我国的科技成就,常问北京正负电子对撞机在世界排第几? 从表 2 可以看出,排第七. 但我们看问题不能仅仅从能量高低来排名次,还要看各自的领域. 可以以体育比赛来作比喻. 足球是大球,乒乓球

表 2 现在运行和正在建造中的正负电子对撞机

名称	国别	能量 (GeV)	建成年代
BEPC	中	2.8×2.8	1988
SPEAR	美	3.9×3.9	1972
VEPP4	苏	5×5	1979
DORIS	西德	7×7	1973
CESR	美	8×8	1979
PEP	美	15×15	1980
TRISTAN	日	30×30	1986
SLC	美	50×50	1989
LEP	西欧联合	50×50	1989

是小球,在世界体坛上,足球当然要重要得多,但是各有各的世界冠军,在奥运会上,各拿各的金牌. 我国限于国力,只能作力所能及的事情,在某一方面争取世界第一.

上面已经提到了,在粲物理和  $\tau$  轻子物理领域,北京正负电子对撞机是最先进的对撞机. 光有先进的加速器是第一步,我们的目的是在这个对撞机上作出世界第一流的物理工作,对撞产生我们要研究的粒子,需要有仪器去记录,分析它们,这种仪器名叫探测器. 对撞产生的粒子和它们的衰变产物是多种多样的,需要有好几种不同的探测器来完成这一任务. 把多种探测器组合起来,称之为谱仪. 在北京正负电子对撞机上,我们建造了一台通用谱仪,名叫北京谱仪.

谱仪的任务是尽可能探测到在反应中放出来的所有粒子. 世界上所有在对撞机上工作的谱仪的结构基

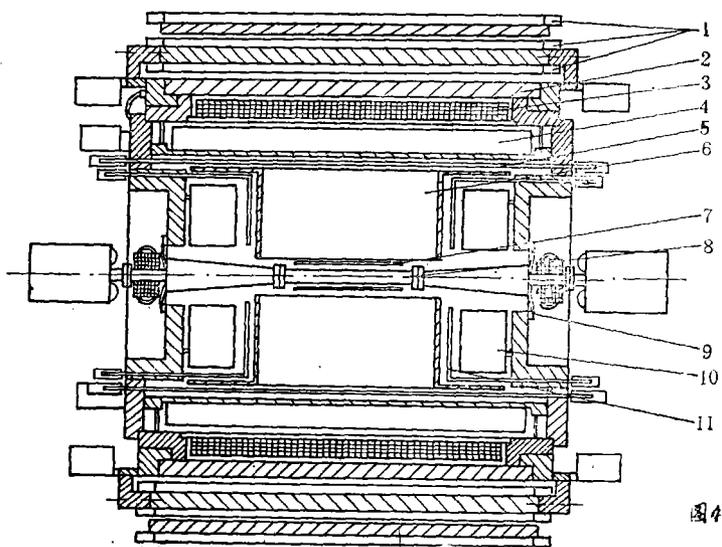


图 1 北京谱仪示意图  
1.  $\mu$  子鉴别器; 2. 轭铁; 3. 磁体线圈; 4. 桶部簇射计数器; 5. 桶部飞行时间计数器; 6. 主漂移室; 7. 中心漂移室; 8. 束流管道; 9. 亮度监测器; 10. 端盖簇射计数器; 11. 端盖飞行时间计数器

图 1 北京谱仪示意图

# 一九八八年诺贝尔物理奖和杰克·斯坦博格

吴为民

当从日内瓦来的电传，以及相继而来的报纸、电台、电视节目宣布，一九八八年的诺贝尔物理奖，授予莱德曼 (Leon Lederman)、施瓦茨 (Melvin Schwartz)、与斯坦博格 (Jack Steinberger) 三位美国科学家时，我们十分欣喜，但并不惊讶。他们在一九六二年所发现的中微子有不同的属性，由此而形成的轻子有“代”的概念，经过二十多年高能物理发展的考验，终究得到了全世界的承认。这项研究成果，在人类对微观世界研究的道路上，立下了一个不可磨灭的里程碑。事隔廿六年，他们荣获诺贝尔奖的好消息，虽“迟”，然而却都“到”了。这证明了这项成就的深远影响与巨大的生命力：历史，没有忘记他们。

当一九三一年，泡里从研究  $\beta$  衰变的能谱出发，提出中微子的假设时，几乎没有人能够想象，怎么去“捕捉”这神秘莫测的“粒子”。一九三四年，费米根据泡里的假设，提出了原子核中的中子，衰变成质子，同时放出一个电子与中微子的  $\beta$  衰变的理论。费米的理论指出，原子核  $\beta$  衰变的相互作用，不同于电磁相互作用，是一种“弱相互作用”。费米的理论计算与实验结果，符合得很好，间接地证明了中微子的存在。即使如此，人们仍然不知道，如何真正地去测量它。其原因是，中微子是中性的，所以用于测量带电粒子的所有办法，对它都无效。它与物质的相互作用又极弱，甚至可以穿过整个地球而不被任何物质吸收。所以长时期来，中

本上都差不多，作成一个多层的园桶形状，套在束流管外(电子和正电子在束流管道内对撞)，在园桶的两端加两个端盖，端盖上也装有探测器。

图 1 是北京谱仪的示意图。谱仪的中心是束流管道。离束流管对撞点各 1.9 米处束流管外安装有亮度监测器，用于测量对撞机的亮度。从束流管向外，第一层是中心漂移室，记录带电粒子的径迹。第二层是主漂移室，测量带电粒子的径迹和粒子在单位长度内的能量损失，这样可以得出粒子的动量和分辨带电粒子的种类。第三层是用塑料闪烁体构成的飞行时间计数器，用以记录带电粒子从对撞点飞到这探测器的时间，这一信息也可以用来分辨粒子。第四层是簇射计数器，用来记录光子和电子的能量。再外面是螺线管线圈。这个大线圈重 31 吨，它所产生的磁场使带电粒子在漂移室内偏转，从而可以测定粒子的动量。线圈

微子神出鬼没地出现在理论家的计算中，但实验上，始终无法“确认”它！

尽管如此，经过科学家的长期努力，中微子这个“幽灵”，还是给“捕捉”到了。

一九五二年戴维斯 (Davis) 按照早在一九四一年由我国科学家王淦昌所提出的建议，用 K 俘获法证明了中微子的存在。

一九五三年，在反应堆旁观测到了反中微子。一九五六年，克汪 (Cowan)，里纳斯 (Reines) 等人，在实验上直接观察到中微子。一九五八年，哥德哈勃 (Goldhaber) 等人，还精确地测出了中微子的螺旋性。以上这些实验的一个总的特点是，中微子，或者是在反应堆里产生的，或者是局限在核的研究领域，其方法，也不外乎以下三类：

1)  $\beta$  能谱法：用量能器测量  $\beta$  衰变时的能量谱，由于电子只带走了衰变前后原子核能量差的一部分，其余部分的能量，即由中微子带走。这是最早的，也是最粗糙的定性地，间接地证实中微子存在的实验。

2) 原子核反冲法：大家知道，原子核在  $\beta$  衰变发射电子的同时，原子核本身还要受到一个反作用力，使原子核本身获得一个反冲速度。只要测出了发射电子与反冲核的动量，从能动量的守恒，就可以确认中微子的存在。

3) K 俘获法：最著名的，就是由哥德哈勃做的实

外面是作为磁回路的轭铁。轭铁有三层，每层分别装正比计数管，名叫  $\mu$  子鉴别器。 $\mu$  子可以穿透轭铁，而被  $\mu$  子鉴别器所记录。以上是桶部的情况，在两端的两个端盖上各装了飞行时间计数器和簇射计数器。

北京谱仪跟在这一能区作聚物理的美国的一台名叫 Mark III 的谱仪相比 (Mark IV 在 SPEAR 上工作，是目前世界上唯一的一台在对撞机上作聚物理的谱仪)，我们在漂移室、簇射计数器方面都有所改进，而且比 Mark III 增加了端盖飞行时间计数器，总的性能比 Mark III 好，是目前在这一能区性能最好的谱仪。

北京正负电子对撞机已初步实现对撞，北京谱仪也已记录了宇宙线径迹，我国高能物理实验已经初步有了一定的工作条件。我们相信，在不久的将来，我国的科学家一定能依靠这些实验条件作出世界水平的工作，绝不会辜负全国人民的期望。