

中国的高能物理实验基地

China's High-Energy Physics Research Establishment

郑志鹏

(中国科学院高能物理所副所长,研究员)

1988年10月16日北京正负电子对撞机对撞成功及其后不久北京谱仪投入正常工作,标志着中国有了自己的高能物理实验基地。

目前北京谱仪已收集到900万J/ ψ 粒子事例,对J/ ψ 粒子衰变性质的研究方面获得了一些有趣的结果;完成了 τ 轻子质量的精确测定,得到了国际高能物理界的关注和赞赏,标志着中国已在世界高能物理领域占有一席之地。

一、高能物理是研究什么的?

高能物理又称粒子物理,是探索微观世界的前沿科学,以研究微观世界的物质结构及其运动规律为目标。

数千年前,古希腊和中国的哲人们对微观世界的结构有过许多精辟的见解,但那只是哲学上的推理。只有到了19世纪,原子、分子学说才进入科学的轨道。到了20世纪,从实验上证实了原子并不“基本”,它由电子和原子核构成,而原子核则由质子和中子组成。到了20世纪60年代,人们才知道质子和中子也不“基本”,它们都由更基本的“夸克”构成。这些对微观世界认识的突破,只有在高能加速器产生后才能实现。

到目前为止已发现了400多种粒子,它们由更深一个层次的粒子组成。这些粒子是夸克(已发现5类,考虑到颜色和反粒子共30种)、轻子(5类12种),媒介子(5类12种)。所有的粒子参与目前已知的四种相互作用:强相互作用、弱相互作用、电磁相互作用和引力相互作用。30多年来,一个又一个新粒子被发现,一个又一个新奇的规律被揭示,人们在揭开微观世界奥秘中不断获得新的知识,同时也为未来的应用带来了前景。高能物理学也还有许多未知现象待探索。理论上预言的一些粒子,如:顶(top)夸克、希格斯(Higgs)粒子、超对称伴随子等需要实验的证实。人们期待理论的重大

突破。这也是世界各国不惜投入巨大的人力、物力到高能物理研究的原因。

二、高能加速器和探测器

研究基本粒子需要花费十分巨大的实验设施——加速器和探测器。

加速器是利用电磁力加速带电粒子的一种装置,其能量超过10亿电子伏则称为高能加速器。

加速器可按加速方式分为直线、环形等,也可按加速粒子的种类分为电子、质子、重离子等。

70年代,加速器技术有了很大进展,即同时加速两种类型的粒子并使其对撞。这种加速器通称对撞机,其优点是有效加速能量高、背景小,但技术是相当复杂的。

目前已有的或将要建造的大型高能加速器都是对撞机。

加速器建造的的目的是产生各种各样的粒子。按爱因斯坦公式 $E=mc^2$,即产生某一大质量的粒子,需要相应高的能量。同时,能量越高,波长越短,粒子探针则更易深入粒子内部。这就是世界上一些国家不惜耗费巨额资金建造能量越来越高的加速器的动机。

加速器产生的形形色色的粒子是肉眼无法观察到的,需要探测器去捕捉和分析它们,得到粒子特性的各种信息,以期从中找出规律性的东西,更希望发现新粒子和新规律。

探测器的主要任务是记录下粒子的各种参数(如能量、动量等)并分辨出它是哪一类粒子。没有高、精、尖的技术是无法记录和辨认那些只有 10^{-18} (阿)米尺寸的粒子和捕捉几纳秒发生的事例。

三、北京正负电子对撞机和北京谱仪

中国老一辈的物理学家,如:赵忠尧、王淦昌、

钱三强、张文裕、谢家麟、朱洪元等，都期望中国有自己的高能物理加速器和探测器。从60年代起，就提出了许多建造方案，但都相继夭折了。周恩来总理一直关怀中国的高能物理事业，在1972年指示：“(高能物理研究)这件事不能再延迟了”。直到1982年，经邓小平同志批准，决定在北京建造一台正负电子对撞机和探测器。工程于1984年10月破土动工，1988年10月16日实现了正、负电子对撞，1989年对撞机、谱仪投入运行。中国终于有了自己的高能物理实验基地，几代物理学家的理想实现了。

北京正负电子对撞机是由直线加速器和储存环组成。

负电子(通常称电子)和正电子分别在长200米的电子直线加速器上加速至11~14亿电子伏。正电子是在电子加速至1.5亿电子伏后打在一转换靶上产生的。然后它们分别无加速地在输运线上漂移，在不同位置注入储存环，沿相反方向运动，逐步积累到一定强度后再加速，最后对撞。储存环的周长为240米，每一束最大设计能量为28亿电子伏(质心系能量为56亿电子伏)，这样就提供了产生 J/ψ 及其家族、 Υ 粒子和 τ 轻子的条件。

北京正负电子对撞机的各项指标都达到国际同类加速器的先进水平。例如它的亮度(对撞机的一个重要指标，与两束粒子对撞时产生的粒子数成正比)是曾经在该能区工作过的美国一台称之为SPEAR对撞机的四倍。这样为我们提供了一个与国外竞争的极好机会。

电子、正电子束团的截面小于0.1平方毫米，每秒要绕240米的圈子转125万次，并在固定位置对撞，因此对空间、时间的控制是十分严格的。此外，在大体积范围内实现高真空($10^{-9} \sim 10^{-10}$ 托)，高功率(35兆瓦)速调管，大功率电源，快速电子学等高新技术，都大大促进了国内高技术的发展。

北京谱仪是在北京正负电子对撞机上工作的唯一大型探测装置。长、宽、高各为6米，重500吨。它由中心漂移室、主漂移室、飞行时间计数器、簇射计数器、螺线管线圈、磁铁、 μ 子鉴别器、气体系统、电子学系统、触发判选系统、数据获取系统和离线分析系统等组成。

漂移室可以给出带电粒子的位置，电离能量损失，配合螺线管线圈提供的4 000高斯磁场给出粒子动量。飞行时间计数器可以精确测量从对撞点飞抵该探测器的时间(时间分辨率达3纳秒)，为分辨粒子提供重要信息。簇射计数器用来测量正、负电子和光子的能量和位置。最外层的 μ 子鉴别器则可以记录穿透力极强的 μ 子的位置和动量。

从各分探测器来的信息通过两万路电子学仪器进行放大并转换成模拟量，经逻辑处理后将这

些数据记录下来。这些数据的分析量很大，需经筛选、径迹重建、刻度、分类等复杂过程，借助于四台VAX计算机进行处理。最后得到粒子的各种参量，分析到感兴趣的粒子的性质及其相互作用规律。

北京谱仪已成为国际同类探测器中最先进的谱仪之一。

北京正负电子对撞机和北京谱仪的绝大部分部件是国内生产、研制的。经过两三年的运行考验，证明是稳定、可靠的。

北京正负电子对撞机除了用于高能物理研究外，还可以正负电子束在储存环产生的同步辐射光进行物理、化学、生物、材料、地质、医学、光刻等多学科的应用研究。

四、 Υ 物理和 τ 轻子物理

北京正负电子对撞机的质心能量为30~56亿电子伏，这就确定了我们的物理目标是研究第四个夸克(Υ 夸克)以及第三代轻子(τ 轻子)的性质及相互作用规律。

十多年来，许多加速器、探测器工作在这一能区上，获得了许多有意义的结果，但也遗留下许多重要的问题有待解决。例如：胶子球态存在的确切证据， $\xi(2,2)$ 粒子是否存在， D^0 和它的反粒子是否存在混合， D_s 性质的精确测量， 1^1P_1 态是否存在， τ 轻子和 τ 中微子质量的精确测量等，都是国际高能物理界非常关注，我们有机会获得解决的问题。

近一年多来，北京谱仪已收集到900万 J/ψ 事例，并分析了其中的一部分，得到了一些初步结果，例如 J/ψ 宽度的精确测量， J/ψ 衰变的一些分枝比测量， $f_2(1270)$ 粒子的自旋、宇称分析，一些可能的胶子球事例的观察，中性事例的分析等，都先后在一些国际高能物理会议上作了报告，得到了国际同行的关注和好评。

最近，北京谱仪合作组(包括近一百位中国的和二十位美国的物理学家)对 τ 轻子质量进行精确的测量，给出了迄今为止最精确的结果，得到了国际高能物理界的关注和重视。李政道先生评价说这是1991年国际高能物理界最重要的实验结果之一。

中国的高能物理学家决定充分利用已建好的高能物理实验基地，做出更出色的物理结果，牢牢占住国际高能物理界的一席之地。

(责任编辑 宋义荣)