

谈高能物理实验区

唐孝威

高能物理实验是在规模很大的高能物理研究中心进行的。在这里,有高能加速器、高能实验区、计算中心、探测器实验室、附属工厂等许多部分。高能加速器——这是产生高能粒子、用来做高能物理实验的工具;计算中心——这里设置着大型的电子计算机,是集中处理实验数据的地方;探测器实验室——这是研制、安装、调整各种高能探测器的实验室,当探测器准备好以后,就运到高能实验区去做高能物理实验;附属工厂——这里有各种车间,为物理实验、加速器及探测器进行加工、制造、装配等工作。高能实验区是由许多实验厅组成,里面安放着各种探测器和大型的实验设备,是高能物理工作者做高能物理实验,获得实验数据的地方。下面我们就来具体谈谈高能实验区的一些情况。

一、

我们首先到实验大厅。

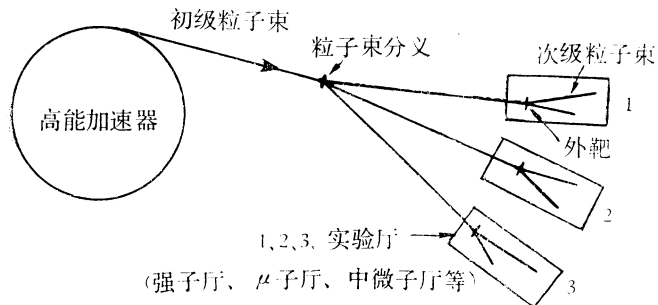
在高能加速器附近,一个个大厂房似的高大建筑物就是实验大厅。实验大厅很宽、很长、很高。举例说,能量在数百亿电子伏区域的质子加速器,最大的实验厅宽度达五、六十米,长度达到二百米左右,高度在二十米左右。为什么要宽呢?这是因为在同一个实验大厅里要能够同时容纳许多组作物理实验的设备台架。为什么要长呢?这是因为高能粒子束的动量很高,在短距离中用磁铁不容易偏转它们。为什么要高呢?这是因为要尽量减少射线在大厅顶部散射下来的本底。这样的实验厅,根据物理实验的需要,一般要设置几个。例如,目前在一些高能质子加速器上,除进行高

能强子的物理实验外,还着重用高能轻子来做物理实验。这些高能轻子是由高能质子产生的次级粒子。为此,除设置强子实验厅外,还要安排高能中微子实验厅、高能 μ 子实验厅等。每一个厅引入一种高能粒子束,作为“炮弹”,轰击其他粒子来研究粒子的结构和性质。例如:高能强子束(质子、 π 介子、 K 介子等)引到强子实验厅去做强子实验;高能中微子束引入中微子实验厅去做中微子实验。各个实验厅的布局,要考虑到便于各种粒子束的产生、分配和转向。这里说明一下,就是高能实验厅的布局,不等于其中各个高能物理实验的布局。各组高能物理实验的布局,要根据每个组实验的具体要求和特点,另外进行具体的设计和安排。在《高能物理》杂志一九七七年第一期中,有一篇《谈谈高能加速器的总体布局》的文章。里面讲到总体安排的重要性,以及设计中考虑的原则。也适用于高能实验区的布局设计。例如:中微子的穿透力很强,它能穿过很厚的物体而很少被吸收。所以可以安排几个前后相连的实验厅,共用同一个中微子束,做几个中微子实验。大型泡室的设备,规模很大,而且要有特殊的安全措施,所以往往为大型泡室专门建造实验厅。作为比较永久性的大型高能物理实验设备。为了充分地 and 有效地利用加速器的粒子束。在同一个实验厅里,有时将粒子束分成几股,同时进行几个不同的物理实验。各个不同组的实验台架之间,用混凝土块堆成屏蔽墙互相隔开。

以上说的是打静止靶的高能加速器的实验大厅。在高能粒子对撞机上,高能物理的实验安排得有些不同。因为对撞机是用两股高能粒子束互相对头碰撞产生反应,所以对撞机不引出束流,也不再另外用别的靶,对撞粒子束本身就是靶。高能粒子对撞机的实验区就设在碰撞交叉点上。一般都设置好几处粒子碰撞交叉点,以便同时进行几个不同的物理实验。

二、

我们再来谈谈粒子束。



在实验大厅里，你可以看到从高能加速器方面引过来的各种长长的管道，这就是高能粒子束的通道。为了避免粒子束在空气中的散射，这些管道内部要抽真空。高能加速器一个循环接着一个循环，不断地把强大的粒子流输送到各实验厅做高能物理实验。

在高能加速器中直接被加速到高能量的粒子束，叫做初级粒子束。质子加速器的初级粒子束就是质子束。用高能初级粒子束轰击“产生靶”产生的各种粒子束，叫做次级粒子束。“产生靶”放在高能加速器里面时，叫做内靶，内靶产生的次级粒子需引出加速器来，才能做高能实验。但通常是用外靶，也就是把“产生靶”放在加速器外面的适当地点，从加速器引出高能初级粒子束，轰击外靶而产生次级粒子束。

高能加速器的粒子束，是一阵一阵地脉冲式产生的。每个脉冲的持续时间(也就是脉冲宽度)以及脉冲的重复频率，要调节得适合于物理实验的要求。例如，用计数器电子学的高能物理实验，要求用持续时间较长的慢脉冲；而用泡室的高能物理实验，则要求持续时间极短的快脉冲。初级粒子束由粒子引出系统有效地从高能加速器引出来，再经过偏转、聚焦，打到铍块或钨块等材料做的“产生靶”上。初级粒子和靶中粒子发生作用，产生 π 介子、 K 介子、中子、超子、反质子等各种次级粒子，其中的 π 介子、 K 介子等粒子还衰变产生 μ 子和中微子。因为这些 μ 子和中微子不是由初级粒子束直接打靶产生的，而是次级粒子衰变的产物，所以强度会低一些。但是可以用专门的设备，例如聚焦 π 介子、 K 介子的装置，来形成强的 μ 子束和中微子束。粒子束从“产生靶”到实验地点之间，要经过由许多个排列成串的偏转磁铁、聚焦磁铁、粒子准直器和粒子分离器组成的庞大的束流运输系统，有时也简称束流线。束流运输系统设计、调整得好不好，对能不能做好实验，关系可大哩！因为在高能物理实验里，除了要求粒子束的能量高、强度大外，还要求粒子束中各个粒子的能量彼此间应尽可能地相近、而且粒子束的平行程度要好，粒子准直器就是使粒子束的能量分散足够小，角度分散也足够小的设备。同时，人们每做一个物理实验，总是选用一定种类的粒子，并且要求粒子束中只含需要的某种粒子，不含或尽量少含其它不需要的粒子。特别是用泡室进行的高能物理实验，需要纯度很高的粒子束。“粒子分离器”能够在粒子束中分离出纯的、实验需要用的粒子，去掉不需要的各种本底粒子。总之，束流运输系统的作用，就是从大量次级粒子中间，选择需要的、确定动量的粒子束，并把它们从“产生靶”一直送到实验地点，以满足高能物理实验的要求。

前面我们介绍了庞大的实验大厅

和复杂的束流运输系统。这些都是高能物理实验所必需的。高能物理实验工作者，正是在这种庞大的实验大厅里，利用强大的高能粒子束去变革微观粒子、从而发现新粒子、认识粒子的结构和性质。

三、

下面我们介绍实验区里的一些大型设备。

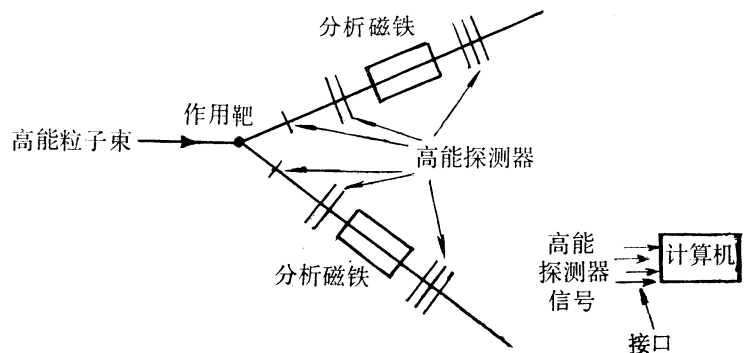
做高能物理实验，有了高能粒子束变革粒子，还得用各种仪器设备去探测它们，才能够知道变革粒子时发生了什么情况。在实验厅里，有各种各样的实验设备。不同的物理实验，要用不同的设备。除了少数公用的大型实验设备外，各个物理实验所用的具体实验设备都不完全一样。目前高能物理实验中，一般常用的实验设备有：靶、各种高能探测器、分析磁铁、磁谱仪、快电子学仪器、电子计算机等。泡室是一项比较固定的大型设备，另有专文介绍，这里就不多讲了。

靶，这是被高能粒子轰击的样品，在粒子束的末端。这些靶叫做“作用靶”，用以区别产生次级粒子束的“产生靶”。实验中各个靶的材料、大小和形状，是根据物理实验的不同需要来设计和制造的。常用的有：液氢靶——这是用液氢做成的，它们是纯的质子靶；液氘靶——氘是由一个质子和一个中子组成的原子核，用它们可以研究中子的效应；以及各种固体靶——例如铍靶、铜靶等等。在一些专门的物理实验中，还要用极化靶。这是用特殊方法使靶中所有粒子的自旋都依一定方向排列的靶。用它们可以进行涉及粒子自旋性质的研究。

在靶的周围，安放许多不同类型的高能探测器，去探测记录高能粒子碰撞产生的许多粒子。目前高能物理实验中，常常用许多探测器(例如：计数器描述仪、飞行时间谱仪、强子量能器等。)的组合台架。

什么是计数器描述仪呢？这是用大量的小体积计数器单元排列成的探测系统，可以用它们大致确定粒子运动的路径。例如由闪烁计数器的小单元组成的，叫闪烁计数器描述仪。

什么是飞行时间谱仪呢？这是用时间分辨率很好的几个高能探测器，放在固定的距离上组成的系统。可



以用来测量高能粒子飞行经过这段距离所需要的时间间隔，由此确定粒子的速度。如果再用别的方法测量出粒子的动量，从动量和速度就可以推算出粒子的质量。

什么是强子量能器呢？这是用体积庞大的吸收体和探测器，把入射的高能强子的能量全部吸收在里面，从而测量强子能量的装置。

分析磁铁是高能物理实验中大量应用的设备。在磁场中，带电粒子的运动路径会弯曲。从粒子路径弯曲的程度（即曲率半径）以及弯曲的方向，可以定出粒子的动量、以及粒子电荷。目前，高能物理实验所用分析磁铁的长度，往往达到几米至十几米。

在实验大厅中，还有用各种高能探测器（主要是定位精度好的探测器）和高精度分析磁铁组成的磁谱仪。它们是精确分析粒子动量分布的设备。常用的磁谱仪有“单臂磁谱仪”、“双臂磁谱仪”，以及对粒子接收孔径很大的“大孔径磁谱仪”和记录产生许多个次级粒子的作用事例的“多粒子磁谱仪”等。磁谱仪中用的高能探测器种类繁多，目前漂移室、闪烁计数器等用得较为普遍。各种探测器之间，可按许多种不同方式进行组合。

在实验厅的计数实验室中，几乎在每一个计数器电子学实验的仪器终端，都至少放着一台专为这个实验使用的小型电子计算机。在进行实验测量时，计数器输出的电信号，经过快电子学仪器，传送到在线的小型电子计算机自动记录、处理和显示。实验仪器在实验过程中的工作状态，也用计算机监视、记录和调整。实验数据全部记录在磁带上，供进一步分析处理用。

上面我们对高能实验区的规模、设备做了简单介绍。从中可以看到，人类对于微观粒子结构的认识，来源于高能物理实验的实践，这种认识越深入，需要的实验设备越庞大、越复杂。实验设备的不断发展、革新，推动了高能物理实验的发展，导致科学上的重大发现。因此，我们必须重视建设、发展先进的实验设备。同时，也必须建设起一支过硬的高能物理实验队伍，才能在高能物理领域实现赶超世界先进水平，为人类做出较大的贡献。