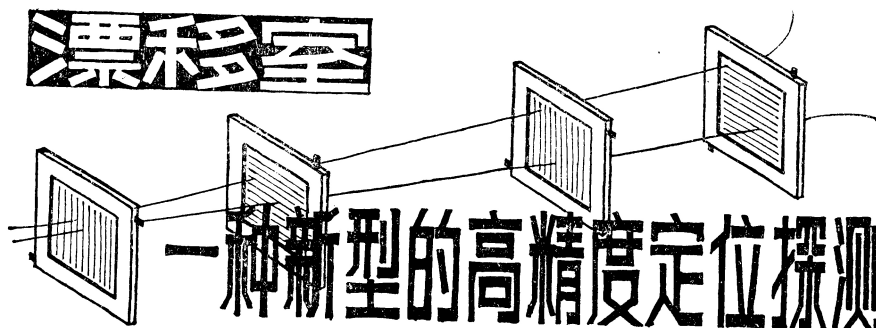


漂移室



一种新型的高精度定位探测器 (上)

王 运 永

七十年代初期,在实验物理领域出现了一种新型的高精度定位探测器,从而使高能物理实验进入了一个崭新的发展阶段,这就是漂移室。从第一个漂移室的雏形问世至今,虽然只不过几年,但漂移室的研究、设计和制造,却经历了一个蓬勃发展的时期,目前它已成为一种通用性很强、威力很大的探测器。全世界有很多实验室在使用它。

高能物理探测器按照探测粒子的方式,基本上可以分为径迹室和计数器电子学在线实验探测器两大类。前者是把被测粒子通过的径迹显示出来,拍成照片,进行测量和分析。气泡室,云雾室,核乳胶均属此类。后者是当被探测的粒子通过探测器时,直接给出电脉冲讯号。这些讯号通过一系列的逻辑电路,被送进电子计算机进行数据处理。闪烁计数器、契伦柯夫计数器、多丝正比室、火花室、闪烁描述仪和漂移室均属于这一类。

50年代后期及60年代的计数器电子学在线实验当中,占统治地位的是火花室和闪烁描述仪。但由于分别受到计数率、定位精度及造价高等方面的限制,在线实验在当时整个高能物理实验当中所占的比例较小。现在,情况已经起了重大的变化,这些“经典”的传统探测器基本上已被后起之秀漂移室和它的“兄弟”多丝正比室所取代。这样一来在线实验在整个高能物理实验中就占了压倒的优势。此外,还出现了径迹探测器(如气泡室、流光室等)与多丝正比室、漂移室联合使用的混合系统。漂移室、多丝正比室除了广泛应用于高能物理实验方面外,在原子核物理、宇宙线物理、天文学、生物学、医学、X射线晶体及非破坏性材料实验等方面也有很广泛的应用。漂移室以其突出的八大优点显示其巨大的生命力:

1. 这种探测器的电极上加的是直流电压,不象火花室那样使用非常高的脉冲电压,因此漂移室是连续灵敏的,可以同时起到确定入射粒子的位置及数目的作用。

2. 高精度的空间分辨: 确定一个入射粒子的位置,总有一定的误差,这就带来一个精度问题。好的火花室,定位精度可达到0.3毫米,漂移室的空间分辨与漂移距离有关,一般可达到0.1毫米,甚至更小。

3. 好的时间分辨: 一般好的火花室的时间分辨约为1微秒(10^{-6} 秒),对于多丝正比室来说时间分辨可达25毫微秒左右(25×10^{-9} 秒)。漂移室的固有时间分辨一般约为2—4毫微秒。

4. 高的计数率: 漂移室允许高的计数率,因而可以在强入射束流下工作。一般它的计数率可达每秒10万个。而火花室一般计数率为每秒10个左右,最多每秒300个左右。

5. 除有好的空间、时间分辨的优点外,漂移室还有高的计数效率,对于最小电离粒子来说,一般都可大于99%,而近似为100%。

6. 漂移室可以做得很薄、很轻,最好的可以做到20毫克/厘米²,或更小。

7. 便于大面积应用: 由于漂移室结构简单,读出方便,没有静电不稳定性问题。所以能适应不同的需要,做成各式各样,面积也可大可小。它可以小巧玲珑到几十平方厘米,也可做成面积达十几甚至几十个平方米。有人做中微子实验就作了4×4平方米的大型漂移室。

8. 价格便宜: 多丝正比室丝距很小,一般为2毫米左右,因此一些大型实验装置往往有几千根甚至数万根丝,每根丝有一套电子学系统,因而价格是很昂贵的。漂移室与之相比,丝距较大,一般为几厘米到十几厘米,这就大大减小了与之相连的电子学系统的数量,也就大大降低了造价。

一、漂移室的基本结构

漂移室的种类很多,结构大同小异,下面我们就常见的方形漂移室作一简单介绍。图1是方形漂移室结构的一个示意图。阳极丝平面放于两个阴极平面之

间, 阳极丝平面内有较粗的电位丝(常用直径 100 微米和较细的阳极丝

(常用直径为 25 微米的丝), 两个阴极平面也常常是由直径为 100 微米相距 1 毫米或 2 毫米的一根根细丝组成, 阳极平面和阴极平面之间由绝缘的框架隔开, 阴极平面的外面有涤纶薄膜把室封起来. 在框架的一边有进气孔, 另一边有排气孔. 已经选好的一种混合气体不断地通过室内流进流出. 阴极丝和电位丝上加有几千伏的负高压. 阳极丝一般是处于地电位, 有时也加上正电压. 需要的讯号从阳极丝取出, 经过一系列电子学线路之后, 送到计算机进行运算和处理, 并得到需要的数据.

二、漂移室的工作原理

漂移室的工作原理, 是基于电子在气体中的运动和气体放大现象.

当被探测的粒子穿过漂移室时, 与室内的介质(常用气体)相互作用中有电子放出, 这样, 当粒子穿过室时, 就留下一条由初级电离粒子组成的径迹, 这些电离电子在漂移室内电场的作用下, 向阳极丝漂移, 并在到达阳极丝附近的时候, 产生雪崩, 实现气体放大, 因而在阳极丝上出现了一个电脉冲讯号, 测量入射粒子穿过漂移室的时间与脉冲在阳极丝上出现的时间这一段时间间隔(称为漂移时间), 就可以精确地确定入射粒子的位置. 在漂移室中, 粒子穿过室的时间称为“零时间”, 又叫时间原点或参考时间等, 一般由闪烁计数器或其他探测器提供. 把几个漂移室适当地串起来, 亦可自己提供“零时间”. 图 2 是漂移室工作原理示意图.

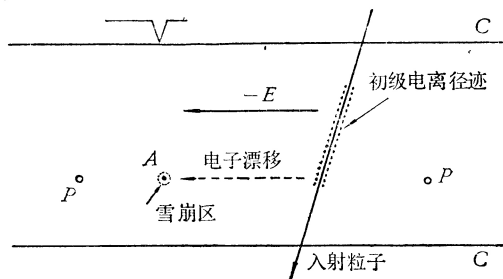


图 2 漂移室工作原理示意图,
C: 阴极平面; A: 阳极丝;
P: 电位丝; E: 漂移电场方向

漂移室与常规的多丝正比室比较, 明显的差别就

是漂移室中加进了电位丝. 它的上面还加有比阴极更低的负电压. 它有什么用处呢? 我们知道, 在漂移室中, 由于阳极丝都是处于同样的电位, 因而在它们之间实际上存在着一个电场为零的区域. 它严重地影响了漂移室的性能. 为了消灭它, 人们在阳极丝之间加进一根粗丝, 它处于阴极电位, 或比阴极电位更低一些. 这根粗丝叫做电位丝, (也叫电场丝). 它在图 1 中用 3 表示. 用这根丝, 除了消除零电场区以外, 还能更严格地划定各个漂移区的边界, 增加漂移电场的强度, 把漂移电场初步整形, 有利于漂移速度保持均匀.

利用漂移时间 t 的测量, 可以精确地定出入射粒子到阳极丝的最短距离 X , 但是它位于阳极丝的左边还是右边, 却搞不太清楚. 这样就不能唯一地确定入射粒子的位置, 为了分辨左右, 常用以下几种方法:

1. 双丝法和三重线法. 利用彼此靠得很近的两根阳极丝 (A, A'), 代替原来的单根阳极丝, 这两根阳极丝在电学上是互相绝缘的, 分别对左边的和右边的入射粒子灵敏. 为了克服两根阳极丝之间的静电斥力, 有人在它们之间放进第三根丝, 称为屏蔽丝 (S), 在屏蔽丝上加有负电位, 用引力来克服斥力. 这在做尺寸很大的室时尤为必要. 这种方法的示意图如图 3.

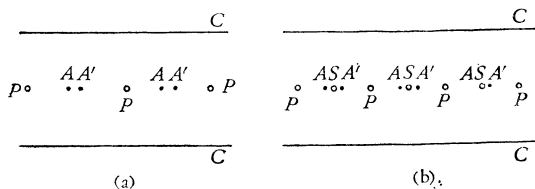


图 3

双丝法 (a) 和三重线法 (b) 解决左右分辨

2. 双室法和三漂移室法. 把两个相同的漂移室放在一起, 彼此错开半个阳极丝之间的距离. 如图 4 所示. 初级电子在室 1 和室 2 中各自向阳极丝漂移, 漂移时间分别为 t_1 和 t_2 , 假定粒子垂直于漂移室平面入射, 并且漂移速度不变, 那么粒子的入射坐标 X 就可以被唯一地确定:

$$X = X_i + \xi$$

$$\xi = \frac{D}{2} \left(1 + \frac{t_1 - t_2}{T} \right)$$

在这里 D 是阳极丝距的一半 (称为最大漂移距离).

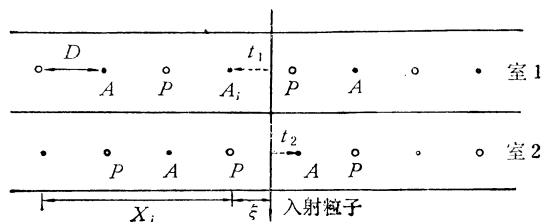


图 4 双室法解决左右分辨问题

T 是漂移半丝距所用的时间(称为最大漂移时间)。如果粒子不是垂直入射, 需要知道入射角度并做几何校正。利用附加的闪烁计数器, 同时可以确定粒子入射的时间

$$\tau = \frac{1}{2} (t_1 + t_2 - T)$$

把三个相同的漂移室组合在一起, 中心漂移室相对于外面的二个错开半丝距, 假定有任何一个粒子, 在一个不知道的 t_0 时刻, 在任何角度上穿过室, 在三个漂移室内的漂移时间分别为 $t_1 - t_0$; $t_2 - t_0$, 和 $t_3 - t_0$ 。假定在三个漂移室内漂移速度是相同的, 则有:

$$t_0 - t_2 = \frac{1}{4} [(t_1 - t_2) + (t_3 - t_2)] - \frac{1}{2} T$$

因此用中心室做时间基准, 就可以得到时间原点 $t_0 - t_2$ 和唯一的径迹重建。图 5 表示了这种方法的原理。

3. 感应脉冲法。最近的实验表明, 雪崩并不是围

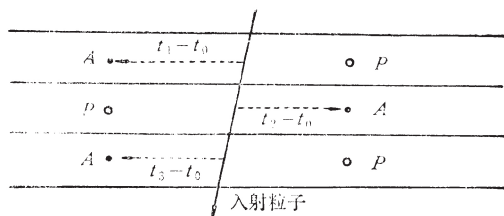


图 5 三漂移室法结构示意图

绕一根阳极丝对称地建立起来的。在阳极丝的左边或右边漂移过来的电子引起的雪崩, 相对阳极丝来讲左右分布不一样。这样, 在这根阳极丝左边或右边的相邻电极上, 如阳极丝、电位丝和其他阳极丝上感应的正电荷的大小就会左、右不同, 我们比较左右相邻电极上感应正脉冲的大小, 就可区分粒子是从阳极丝的左边还是右边入射的。这种做法分别有阴极感应脉冲法、电位丝感应脉冲法和阳极感应脉冲法。人们对此很感兴趣。

还有不少方法, 可以解决左右分辨问题, 各有其优缺点, 可以根据具体情况加以运用。(待续)