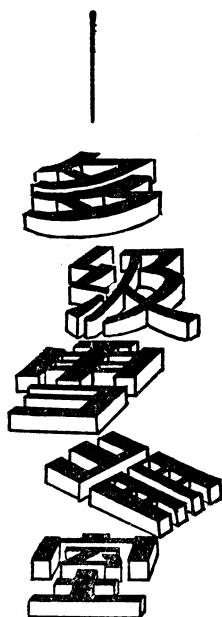


朱永生



为了了解基本粒子的性质及其相互作用，人们要研究各种类型的基本粒子反应。反应前后粒子的能量、动量、飞行方向、宇称、自旋等是我们了解反应过程的基本物理量，它们是用各种各样的探测器来测量的，其中，测量粒子飞行方向的常用探测器是多丝正比室。

(一) 多丝正比室

第一台可供实际使用的多丝正比室是西欧核子研究中心的恰巴克研制成功的。它的结构很简单。整个室体象个扁盒子，中心平面是一排阳极丝，丝直径大约20微米（1厘米=10000微米），丝与丝之间相距2毫米。阳极丝两边是两个阴极平面，阴极可以是金属薄膜或一排阴极丝，或者是金属丝网。整个室体两面用涤纶薄膜封起来保持气密，室内充以惰性气体（通常是氩气）和适当的多原子分子气体（例如二氧化碳、甲烷、异丁烷）的混合物。阴极平面接几千伏的负高压，每根阳极丝则通过电阻接地。多丝正比室的输出信号从阳极电阻取出，经过放大器将信号放大后由电子仪器记录。图1是多丝

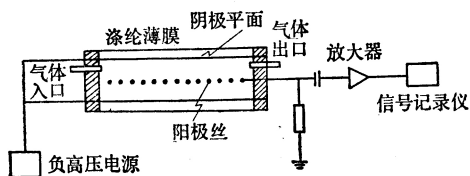


图1 多丝正比室的结构示意图

图中只画出一根阳极丝的负载电阻和电子学线路

多丝正比室探测粒子的基本原理是电离雪崩。当带电粒子穿过多丝正比室，由于与室内气体分子碰撞，

使原来电中性的分子变成电子-正离子对，这种现象称为气体分子的电离。如果没有外部电场，这些电子-正离子对会迅速复合成中性分子。但由于室阴极处于高电压，室内阳-阴极间存在强电场，电子和正离子就分别向阳极和阴极运动。阳极丝很细，周围电场很强，电子运动到阳极丝附近在极短距离内由于电场的加速获得相当大的能量，它与气体分子的碰撞导致次级电离。这种次级电离在阳极丝周围几百微米的强电场内会发生好几代，因而产生大量电子-正离子对。这种现象称为电离雪崩。电离雪崩发生在阳极丝周围很小的区域内，这是多丝正比室的一个显著特点。

雪崩中产生的大量电子被阳极丝收集，正离子则漂移向阴极。如果把带电粒子穿过多丝正比室产生的原始电子-离子对数记作 N ，则由于电离雪崩，阳极收集到的电子数（阴极收集到的正离子数）为 MN 个。 MN 与原始电子-离子对数 N 成正比，这就是称为多丝正比室的原因。 M 称为电荷放大因子，其数值可大到 10^5-10^6 ，因此多丝室阳极流出的电流就相当大，在阳极电阻上可产生几十毫伏的电压负脉冲，这样的信号经过放大器放大很容易用电子仪器记录下来。所以，只要在某一根阳极丝的电阻上记录到一个信号脉冲，就可以知道有一个带电粒子正从这根丝附近飞过。利用两个阳极丝方向相互垂直的多丝正比室，很容易确定粒子穿过的 xy 两维座标。由于阳极丝互相间隔2毫米，所以测定 x, y 座标的误差是1毫米。把两组（或

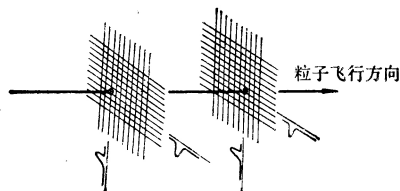


图2 两组共四个多丝正比室，测定粒子的飞行方向

更多组）多丝室隔开一定距离放置，就可以知道粒子的飞行路径了（参见图2）。

使中性的气体分子电离成为电子-正离子对，这是带电粒子所具有的本领，因此多丝正比室可以用来探测带电粒子并对其定位，包括电子、质子、正负 π 介子， μ 子等。此外，多丝正比室还能探测电中性的 x 射线。原因是室里的气体分（原）子可以“吸收”一个 x 光子，放出一个电子。这个电子称为光电子。这种现象称为光电效应（参见图3）。光子的能量必须高于一定数值，才能产生光电效应，这个能量值就象一道门坎，所以称作光电阈能。对于不同的气体分（原）子，光电阈能是不同的，通过光电效应， x 射线在多丝正比室内产生光电子，因而在气体中就能形成电离，产生雪崩，使多丝正比室输出可探测的脉冲信号。

所以，多丝正比室既可对带电粒子，又可对 x 射线起到记录和定位的作用，定位精度1毫米左右。而且，



图3 光电效应图解 原子吸收一个光子,放出一个光电子

每根阳极丝附近每秒钟穿过 $10^5 \sim 10^6$ 个粒子,多丝正比室也可以把它们全部记录下来。就是说,可以在 $(10^5 \sim 10^6)/\text{秒} \cdot \text{丝}$ 的高计数率下正常地工作。多丝正比室结构简单,尺寸可以做得很大。鉴于这些优点,多丝正比室不仅在高能物理和核物理中,而且在宇宙线、天文、医学各个领域中都有广泛的应用。

(二) 多级雪崩室

1978 年以来,恰巴克等人又研制了一种称为多级雪崩室的新型探测器,这种室是多丝正比室的进一步发展,它可以用于多丝正比室所适用的一切场合,同时又有一些新的特点,为多丝正比室所不及。

多级雪崩室的一个基本单元称为预放大和漂移单元,下面我们用英文缩写 PAT 来表示。它由三个电极组成(参见图 4),电极 a 、 c 是金属薄膜,或者金属

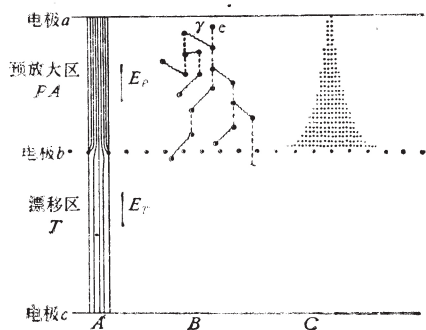


图4 预放大-漂移单元

A 电场分布

B 光电雪崩过程图解

C 光电雪崩过程中电子数的增殖

a 、 c 电极丝直径 100 微米,丝距 1 毫米。预放大区电场 E_p 较强,漂移区电场 E_r 较弱。使用的气体是二元混合气体。其中主要成分是惰性气体,最常用的是氩,另一成分是含量仅占百分之几的光致电离气体,目前使用的有苯、丙酮、酒精、三乙胺的蒸汽等。带电粒子穿过预放大区,由于电离而产生电子-正离子对,电子在强电场 E_p 作用下加速,与氩原子发生非弹性碰撞,使氩原子处于激发态,退激回到基态时,就发射出光子。这些光子能量高于光致电离气体的光电阈能,因而导致光电效应,发射出新一代的电子。上述过程继续下去也就形成了雪崩。因为光电效应产生电子在雪崩形成中起着重要的作用,所以可以称它为光电雪

崩。预放大区内的电场基本均匀,光电雪崩在整个预放大区内发展。由图 4 可以清楚地看到这一点。这与多丝正比室内电离雪崩局限于阳极丝附近截然不同。

崩。预放大区内的电场基本均匀,光电雪崩在整个预放大区内发展。由图 4 可以清楚地看到这一点。这与多丝正比室内电离雪崩局限于阳极丝附近截然不同。

多级雪崩室的一种典型结构是一个 PAT 单元前面加一个电极,后面连一个多丝正比室, b 电极的每根丝也可连电阻负载(参见图 5)。当 X 射线或带电粒子飞过时,在转换区中形成电子-正离子对,电子向

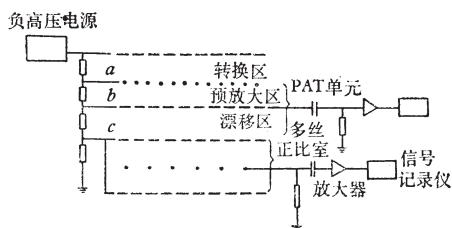


图5 多级雪崩室示意图 电极 b 和多丝室阳极丝可同时输出脉冲信号

预放大区漂移,并在其中发生光电雪崩。电子数的增加倍数称为预放大因子,数值大约 10^3 。

雪崩产生的电子 70—80% 被 b 电极收集,可通过电阻形成电压脉冲输出。另外 20—30% 的电子通过漂移区到达多丝正比室,并在阳极丝附近主要由电离雪崩而形成阳极信号。这一级放大因子为 10^4 ,故总的电荷放大因子为 $10^6 \sim 10^7$,比单个多丝正比室高出十倍左右。

多级雪崩室的粒子探测效率、定位精度与多丝正比室不相上下,虽然结构略为复杂一些,却有多丝室不具备的某些优点。

第一,多丝正比室阳极丝很细,为了达到大的电荷放大因子,附近电场极强,大面积的多丝正比室容易发生电击穿,有时甚至将阳极丝打断。反之,多级雪崩室中,与 PAT 单元相连的末级多丝正比室工作于放大因子不很高的条件下,阳极丝附近电场不很强,这就消除了造成电击穿的一个主要因素。

第二,若预放大因子足够大, b 电极丝方向又与末级多丝正比室的阳极丝相垂直,则一个多级雪崩室可代替两个多丝正比室来确定粒子的 X 、 Y 两维坐标。

第三,在多级雪崩室中,光致电离气体的光电阈能甚低,甚至紫外光都能产生光电子,所以它也可以对紫外光子记录定位。利用这一本领可以测量带电高能粒子的速度。设有速度 v 的带电粒子穿过折射率 n 的透明介质(比如有机玻璃)如果 $\beta = v/c > 1/n$, 则能产生一种切仑柯夫辐射,这种辐射大部分是紫外光子,光子的发射方向与粒子飞行方向的夹角 θ 是一定的。 θ 与粒子速度的关系是 $\cos \theta = 1/\beta n$ 。带电粒子穿过一薄层透明介质就会形成一个光环。用放在透明介质后面的多级雪崩室可以测量出光环半径,算出 θ 角,从而就

确定了粒子的速度(参见图6)。测量切伦柯夫光环来确定带电粒子速度是多级雪崩室目前最重要的用途之一。

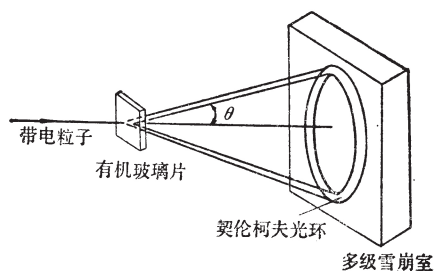


图6 多级雪崩室测量契伦柯夫光环半径,以确定带电粒子速度

第四,多级雪崩室对事例是否需要记录也可加以选择,办法是在PAT单元与末级多丝室中间加一控制电极。如果需要记录事例,可将“通行”信号加到控制电极上,则末级多丝室就有信号输出。如果事例不需要记录,则把“禁止”信号加到控制电极上,预放大区形成的电子就到达不了末级多丝正比室。事例是否需要记录可用其它探测器的信息来判断。由于有了事例选择,多级雪崩室可经受的粒子流强就又多丝正比室增大了几十倍。在现今的高能物理实验中,加速器粒子能量越来越高,流强越来越大,所要探测的粒子的流强也比以前大为增高,多级雪崩室的这一优点就显得十分可贵了。

多级雪崩室还能应用于多丝正比室不能用的其它一些领域,在此不再一一赘述。