

自猝灭流光与簇射计数器

顾维新

北京对撞机谱仪是一个通用的大型谱仪，它既要能测量带电粒子动量、空间轨迹，又要能够测量高能电子或光子的能量与位置。动量与空间轨迹的测量主要用漂移室和飞行时间计数器来完成的，能量与位置的测量由簇射计数器来承担。这里我们先来谈谈什么是簇射和簇射计数器，然后说明一下自猝灭流光放电与簇射计数器有什么关系，最后介绍一下我们正在研制的北京对撞机谱仪中的簇射计数器的情况与特点。

1. 簇射和簇射计数器 我们知道， γ 射线与物质的作用过程，在低能时主要是光电效应、康普顿散射和电子对效应。当能量高时，就会产生簇射现象，也就是说，当高能电子或光子通过物质时，它们与物质产生电磁相互作用，经过轫致辐射而放出光子，这些光子又和物质作用而产生正负电子对，正负电子对又一次和物质作用产生新的光子……如此下去，正负电子对的数目迅速增多，很快达到一个最大值。随着这个过程的

迅速发展，电子的能量由于和物质的作用，损失掉一部分，当能量减小到某一数值时，上述过程就停止了，这个过程就是我们常说的簇射过程。图1表示高能电子在物质中产生簇射的图象。

由于高能电子受到物质的阻挡产生级联簇射而损失能量。我们可以利用一些探测器既要把簇射过程中产生的全部次级粒子的能量测量出来，又要把发生簇射的位置记录下来，能起这样作用的探测器，我们就叫作簇射计数器或量能器。

通常簇射计数器有两种类型，一种叫全吸收簇射计数器，这种簇射计数器可以把入射粒子在它当中损失的全部能量测量出来。例如，当电子或光子射入钻

玻璃时产生契伦柯夫光，利用光电倍增管把光信号转变为电信号，并进行倍增而记录下来；也可用碘化钠晶体做成全吸收谱仪来测量电子或光子的能量。最近还有人用一种新的晶

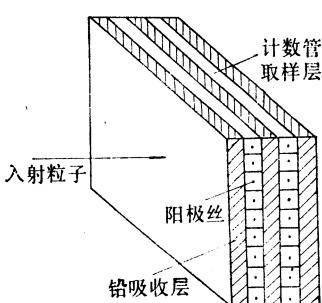
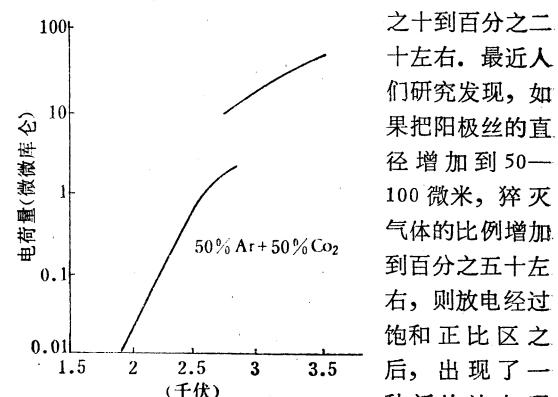


图2 取样型簇射计数器原理图

体——锗酸铋来做电磁簇射量能器。用这些材料做全吸收簇射计数器，显著的特点是能量分辨高，但价格也是相当高的。另一种类型的簇射计数器叫做取样簇射计数器。图2是取样簇射计数器的原理图。我们可以看出，取样簇射计数器是由吸收层和取样层两部分组成，吸收层是作为高能电子或光子在它当中产生簇射的物质，为了产生尽可能多的次级粒子，又要使簇射发展的范围不致太大，也就是能在不太大的范围内较快地损失掉能量，往往选用原子序数Z大的物质作为吸收层的材料，这对减小簇射计数器的尺寸和降低造价是必须考虑的。在簇射的发展过程中，产生的次级粒子总数目或总的径迹长度与入射粒子的初始能量成正比，因此我们测出了总的次级粒子数目，也就等于测出了入射粒子的能量，所以我们可以把吸收体分为很多层，每两层吸收层中间夹入一层测量粒子数目的计数器，用这些计数器来记录次级粒子的总数目，从而推算出入射粒子的能量。常用的记录次级粒子数的计数器有闪烁计数器、正比计数器等。在我们的对撞机谱仪中，我们尝试使用自猝灭流光计数器作为取样簇射计数器的取样层，以提高簇射计数器的能量分辨率和位置分辨的精度。

2. 自猝灭流光计数器 在通常的气体放电情况下，当加在阳极丝上的电压由低到高增加时，气体放电由电离区向正比放电区过渡，经过饱和正比区、盖革区到火花放电区。在正比计数器中，阳极丝的直径大多数在20微米到30微米之间，猝灭气体的比例为百分之十到百分之二十左右。最近人们研究发现，如



果把阳极丝的直径增加到50—100微米，猝灭气体的比例增加到百分之五十左右，则放电经过饱和正比区之后，出现了一种新的放电现象——自猝灭流光放电。这种放电与盖革放电是不同的，盖革放电是沿着阳极丝扩展，持续时间很长，自猝灭流光放电仅仅局限在产生雪崩附近的很小范围内发生，因此它的信

号很快，一般脉冲上升时间只有 10 毫微秒左右，死时间小，同时输出信号的电荷量往往比正比信号的电荷量大数十倍（见图 3）。

图 3 是我们测出的在氩加二氧化碳的气体中的放大特性曲线。实验使用的自猝灭流光计数管是由截面为 11×11 平方毫米，长为 30 厘米铜管作为阴极，直径为 60 微米的镀金钨丝作为阳极。当电压从 1800 伏增加到 2500 伏之间，放电呈现正比特性。电荷量与电压呈现线性关系。电压在 2500 伏与 2800 伏之间是饱和雪崩正比区，电荷量随着电压的增加不再是线性地增加了，而是缓慢地上升。当电压增加到 2700 伏左右，放电立即跳跃到自猝灭流光放电区，可以看到这时的电荷量要比饱和正比放电的电荷量大得多了，在 2700 伏到 2800 伏之间存在一个过度区域，在这个范围内饱和雪崩信号和自猝灭流光信号都能观察到，但随着电压的增加，饱和雪崩信号越来越少。到某一个电压时放电全部由饱和雪崩区跳到自猝灭流光区，这时就观察不到饱和正比信号了。

自猝灭流光放电计数器的探测效率高，可以达到 100%，幅度分布窄，测量出来的幅度谱不象正比计数器测出的幅度谱那样，在高能端有一条长长的郎道“尾巴”。这表明对测量幅度分布的统计涨落小，因此用自猝灭流光计数器来作为簇射计数器的取样层对提高簇射计数器的能量分辨率无疑是有益的。另外，自猝灭流光计数器输出信号的电荷量大，信噪比大，这对用电荷分配法来确定簇射产生的位置是极有利的。一般情况下，工作在正比区时电荷分配法定位的精度为丝的长度的百分之一左右，我们用自猝灭流光计数器来定位，已达到的定位精度是丝长度的 0.08% (2.5 米长)。我们还应看到，自猝灭流光计数器对简化与其相连接的电子学电路方面带来的好处。因为信号相当大，甚至可以不用前置放大器也能正常工作。这仅对一个计数器来说，少用一个前置放大器似乎是微不足道的，但对高能物理实验来说，电子学的道数常常多到一万道以上，在满足实验的物理要求的前提下节省任何一个元件都是有较大的经济意义的。

3. 对撞机谱仪中的簇射计数器 簇射计数器的一种设计方案是，利用自猝灭流光计数器来记录次级粒子数的取样簇射计数器。它是由圆桶部分和端盖两个部分组成的，圆桶部分的长度约为 3.7 米，内径为 2.6 米，外径为 3.44 米，两个端盖的外径是 2 米，圆桶部分与两个端盖包含的立体角是 4π 的 86%。组成圆桶部分的吸收体是由厚 3.5 毫米的铝—铅—铝板胶合而成的，共有 30 层同心圆桶吸收层（图 4），厚度为 12 个辐射长度。每两层吸收层之间隔以 10 毫米高的铝工字梁，各个工字梁之间构成一个个互相独立的计数管单元，每层分为 320 个单元，最内层单元的宽度是 2.4 厘米，最外层单元的宽度是 3.2 厘米。这样，单是

圆桶部分就有 9600 个单元，每个单元的中心拉有一根阳极丝，是直径 50 微米的不锈钢丝。从阳极丝上取出信号，此信号既要记录次级粒子数目，又要可用电荷分配法确定沿着丝方向簇射发生的位置。丝上取出的信

号送到取样保持电路，经过一种称为 BADC 的电路之后到电子计算机，进行数据的记录与分析。

根据我们可能做的物理工作的要求，簇射计数器要有良好的性能指标，要求测量电子或光子的能量范围在 1GeV 以下，下限希望尽可能低

些，为此簇射计数器的圆桶安放在螺旋管磁场线卷内部，可望降低探测光子能量的下限；能量分辨率期望校正比工作模式为好；位置分辨 $\sigma_x \leq 5$ 毫米；要有好的强子和电子分辨能力；对低能光子有好的探测效率和接收度。

簇射计数器要达到上述预期指标，无论在技术上、工艺上并不是轻而易举的事，只要我们精心地设计、试验和研制，一个性能良好的簇射计数器一定会出现的。

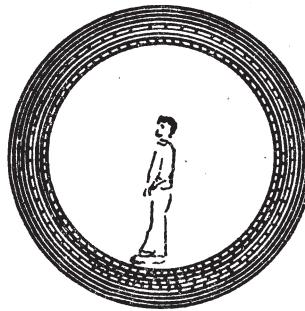


图 4 表示簇射计数器大小的示意图