

# 波长位移技术和 BBQ

李 金

波长位移是六十年代发展起来的技术。七十年代被用于特大面积的塑料闪烁计数器或契仑柯夫计数器上面。近年来,随着加速器能量的提高、探测器规模的扩大,波长位移技术又被广泛地用于高能强子量能器和电磁簇射计数器当中。采用波长位移材料来收集闪烁荧光,简化了荧光收集系统,大大减少了由于光导所造成的死空间,这在高能物理实验中,特别是在对撞机谱仪的实验中是非常重要的。

一、闪烁体荧光收集和波长位移。高能物理实验中经常用的大面积闪烁计数器的结构如图 1 所示。它由大面积闪烁体、光导和光电倍增管三部分组成。闪烁体和光导用铝箔、黑胶带包好,不要漏光。当带电粒子穿过或进入闪烁体时,闪烁体的分子原子受激发而辐射出荧光。这些荧光经过多次全反射从闪烁体进入光导,再由光导被收集到光电倍增管的光阴极上,并转换放大成电脉冲。由于闪烁体截面很大,光阴极很小,为了提高收集效率,往往要做成体积很大,比较复杂的扭曲光导。当闪烁体更大时,这种光导几乎无法适应物理实验的要求,所以从七十年代开始,对于特大面积的闪烁体,人们就采用波长位移的办法来收集荧光了。图 2 就是这种闪烁计数器的示意图。在闪烁体的一个端面放一根波长位移棒,光电倍增管接在波长位移棒(以下简称波移棒)的一端。闪烁体和波移棒之间有一空气隙。当蓝色的荧光从闪烁体穿过空气隙进入波移棒后立即被吸收。波移棒中的分子原子受到这些蓝色荧光的激发又各向同性地辐射出绿色(或黄色,红色等)的荧光。这些波长较长的荧光通过波移棒被光电倍增管接受。这种能吸收波长短的光,又辐射出波长较长的光的材料称为波长位移材料。从表面来看,波移棒的作用似乎是入射光的波长位移了一下。不难看出,用波移棒的计数器的结构简单,占的空间小。最常用的波长位移材料就是 BBQ。BBQ 吸收蓝紫色光,辐射黄绿色光。实际上,波移棒是将波长位移材料 BBQ (英文名字 Benzimidazo Benziso Quinolinc-7-on 的缩写)按照一定浓度渗入到有机玻璃或透明塑料中制成的。

## 二、BBQ 波移棒的主要性质。

(1) 吸收光谱和发射光谱。BBQ 的吸收光谱范围为  $\leq 470\text{nm}$ , 即吸收蓝光和紫光。闪烁体荧光是蓝紫色, ( $\sim 380\text{nm}$ ), 正落在这个范围内。BBQ 的发射光谱范围为  $450\text{nm}-600\text{nm}$  的黄绿色区域。图 3 给出了吸收谱线和发射谱线。这两谱线有部分重合,这意味着

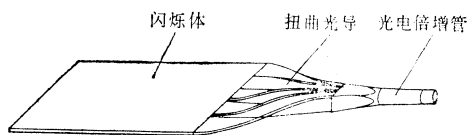


图 1 大面积闪烁计数器结构原理图

BBQ 也要部分地吸收自己发射的光。这就是自吸收问题。好在重叠的不厉害,自吸收不严重。

(2) 吸收效率。BBQ 对蓝色荧光的吸收与 BBQ 的浓度和厚度有关。浓度越高,厚度越大,效率越高。图 4 表示了这一关系。一般来讲,为了得到较高的吸收效率而采用浓度大并且比较厚的 BBQ 波移棒。但是浓度大则自吸收严重,波移棒越厚则死空间越大。所以常用的厚度为  $\sim 5\text{mm}$ , 常用的浓度是  $50-150$  毫克/升。

(3) 衰减长度。因为自吸收, BBQ 本身辐射出的绿色荧光的强度随着传输的距离而减弱,当强度减弱到原来的  $e$  分之一时,其荧光所传输的距离为衰减长度。当 BBQ 波移棒的截面比较大时,衰减长度可达  $4-5$  米。这说明棒的透明度很好,有利于荧光的传输。不过当棒的截面太小,表面光洁度不好时,衰减长度就不太长了。

(4) 荧光衰减时间。BBQ 绿色荧光的辐射不是瞬时的,开始很强,然后逐渐变弱,经过一段时间强度变为原来的  $e$  分之一,我们把这段时间称为荧光衰减时间。BBQ 的荧光衰减时间很短,只有  $\sim 10.7\text{ns}$  (毫秒)。这对于时间响应快的闪烁计数器来讲是很有利的。

三、应用举例。美国费米国立实验室的中微子实验建造了特大面积闪烁计数器,用来测量强子簇射的能量和位置。这个闪烁体厚  $3.5$

cm, 长、宽各为  $2$  米。图 5 是这个计数器的示意图。在闪烁体的四周有四条 BBQ 波移棒,分别由四个光电倍增管接受。结构简单,

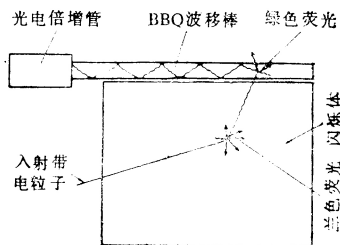


图 2 用波移棒收集荧光的闪烁计数器结构原理图

工作可靠。在德国 DESY 正负电子对撞机上运行的 ARGUS 谱仪中，利用 BBQ 波移棒制作的电磁簇射计数器的性能非常好。能量分辨率达到  $7\%/\sqrt{E}$  (GeV)。图 6 是该计数器原理图。它是由 64 层闪烁体和 64 层铅板交替叠加而成。每层闪烁体厚 5mm，铅板厚 1mm。在 64 层闪烁体端面的前方有一块 BBQ 波移板，厚 3mm。波移板与有机玻璃光导衔接。从任何一层闪烁体来的荧光都能被 BBQ 波移板吸收，并转换成绿光。

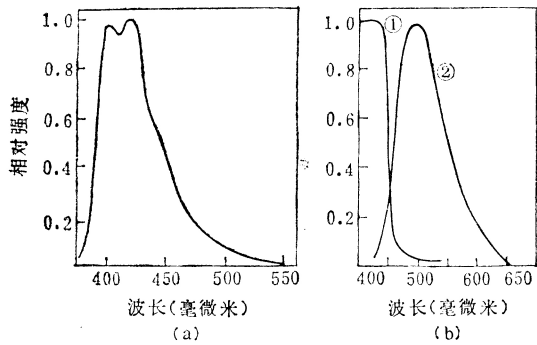


图 3 (a) 闪烁荧光光谱 (b) BBQ 的发光光谱。吸收光谱结构严实、紧凑，死空间很小。64 层闪烁体的荧光只由一个光电倍增管接收。

此外，在加速器 PEP 上的探测器 DELCO，在正负质子对撞机 SPS 上的探测器 UA-2，UA-1 都有采用 BBQ 波长位移技术的电磁簇射计数器或强子量能器。

四、发展前景。虽然波长位移技术已有二十多年的历史，但真正受到人们重视和比较广泛地应用还是近年来的事。目前这方面的发展趋势表现在如下几个方面：

① 寻找更多、更好的波长位移材料。一方面提高对闪烁荧光的吸收效率，另一方面要减少自吸收。这就要求波长位移材料的吸收光谱和辐射光谱的差别越大越好。

② 发展与波长位移材料(如 BBQ)相匹配的闪烁体和光电倍增管。使闪烁体的发光光谱正好落在 BBQ 的

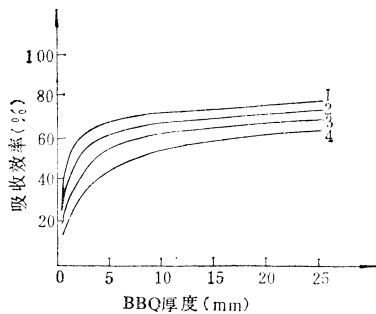


图 4 BBQ 吸收效率与浓度、厚度的关系  
1. BBQ 浓度 300mg/l 2. BBQ 浓度 150mg/l  
3. BBQ 浓度 75mg/l 4. BBQ 浓度 35mg/l

吸收波长范围内。一些新型的光电倍增管的光阴极对 BBQ 的发射光谱灵敏。例如 Philips 公司生产的 xp2008

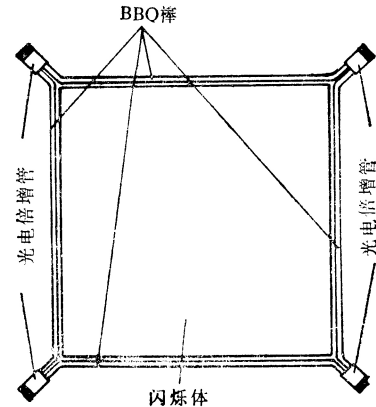


图 5 特大面积闪烁计数器结构示意图。

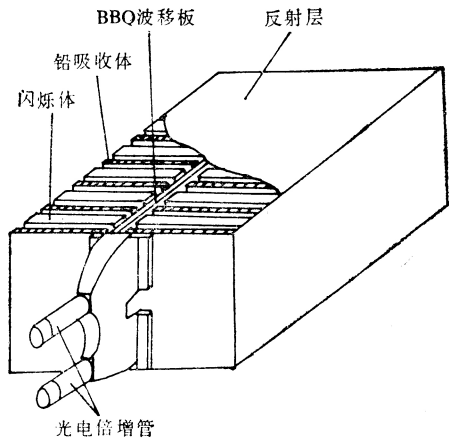


图 6 采用 BBQ 读出的电磁簇射计数器结构示意图

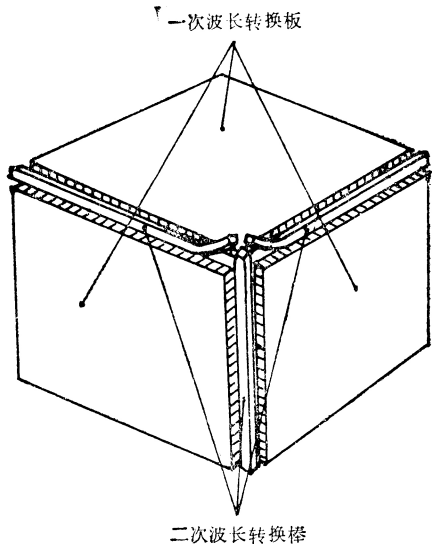


图 7 采用二次波长转换技术的闪烁计数器示意图

B 就是专门与 BBQ 匹配的光电倍增管。

③ 更广泛地把波长转换技术应用到高能物理实验或其他领域上去，甚至出现了二次，或三次波长位移技术，即闪烁荧光要经过二次、或三次的转换才由光电倍增管接收。图 7 是二次转换的示意图。巨大的闪烁体中的荧光首先被一次波长位移板吸收并转换成波长较长的荧光，这些荧光再被二次波长位移棒吸收，并转换成波长更长的荧光，最后由一支很小的光电倍增管接受。因为有两大块一次波长位移板，所以对闪烁荧光有很高的接收效率。又因为二次波长位移棒同时接收两块一次波移板的荧光，效率也很高。所以，虽然只有一支光电倍增管，却可收集到很大体积的荧光，而且效率也很高。