

# 大面积闪烁体中荧光传输的研究

李 金

(中国科学院高能物理研究所)

## 摘 要

荧光在闪烁体中的传输是一个很重要的问题,它直接影响到闪烁计数器的性能。本文详细地研究了荧光在常用的大面积闪烁体中的传输问题,并给出了计算传输效率的公式,提出改善计数器效率的途径。这对计数器的设计、制做是十分有益的。

## 一、荧光在理想闪烁体中的传播

所谓理想闪烁体就是完全透明,无自吸收,表面完全光滑,全反射效率为100%的闪烁体。为简化问题,这里只限于讨论几何形状对称的正方体或长方体。对这种闪烁体,除上述性质外,还有如下几个重要性质。

1. 若闪烁体四周都是空气,闪烁体内某一点各向同性地辐射出荧光。从六面体的各侧面上透射出的荧光一样多。所占总辐射荧光的比例为:

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} (1 - m/n) \quad (1)$$

其中  $m = (n^2 - 1)^{1/2}$ 。  $n$  是闪烁体的折射率。

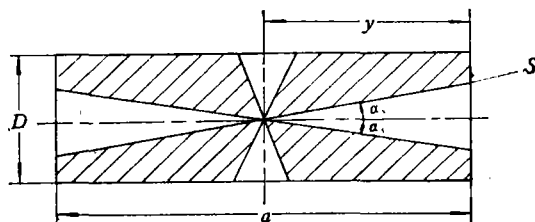


图1 闪烁体横截面示意图

图1是闪烁体横断面。某一点上各向同性辐射出的荧光中只有在 $\alpha_s$ 锥中的荧光才能从端面S上辐射出去。因为在此锥中的荧光都小于全反射临界角 $\alpha_c$ 。

$$\alpha_s = \sin^{-1} \frac{1}{n} \quad (2)$$

如果闪烁体的折射率  $n \geq \sqrt{2}$ , 荧光向各面辐射的锥就不会重叠。从S面上透射出去部分所占的比例就可以得到

本文1982年11月8日收到。

$$\alpha_1 = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha_c} \sin\theta \, d\theta \, d\varphi = \frac{1}{2} (1 - \cos\alpha_c)$$

$$= \frac{1}{2} (1 - m/n)$$

由于闪烁体的折射率  $n$  一般都在 1.5—1.58 左右, 上述条件是满足的.

2. 因为闪烁体是对称的六面体, 只要是可以从一个面上透射出去的荧光, 在与此面相邻的两个垂直面上就符合全反射条件. 通过多次全反射最后只能在该面上透射出去. 所以上述计算出的  $\alpha_1$  是与荧光的位置无关.

3. 除能透射出去的荧光外, 有一部分荧光无论对哪个面都符合全反射条件. 这部分被陷在闪烁体内无法逃出的荧光所占的比例为

$$\alpha_T = 1 - 6\alpha_1 = \frac{3m}{n} - 2 \quad (3)$$

4. 如果闪烁体六个界面中有一个面是与闪烁体折射率相同的介质光学接触, 从该面透射出去的荧光的比例为:

$$\alpha_1 + \alpha_T = \frac{5}{2} \frac{m}{n} - \frac{3}{2} \quad (4)$$

若  $n = 1.58$ , 很容易计算出,  $\alpha_1 = 11.3\%$ ,  $\alpha_T = 32.2\%$ ,  $\alpha_1 + \alpha_T = 43.5\%$ . 这就是说, 对于  $n = 1.58$  的闪烁体, 从一个光学接触面输出的荧光极限值是 43.5%.

## 二、荧光在实际闪烁体中的传输效率

荧光在实际闪烁体中的传输与在理想闪烁体中有两个主要差别. 一个是在传输中的自吸收现象, 另一个是全反射效率不是 100%. 不可能实现真正的全反射. 有人<sup>[4]</sup>用光学的方法测量了全反射效率. 它不仅与入射角度有关, 还与波长有关. 对闪烁体原表面大约为 97—99%, 而不太光滑的只有 93—96% 或更差. 所以, 首先计算荧光在理想闪烁体中的传输效率, 然后将上述的自吸收和全反射中的损失考虑进去就可以了. 为简化计算, 对闪烁体做如下假设:

1. 闪烁体的折射率  $n \geq \sqrt{2}$ , 荧光在闪烁体中的辐射是各向同性的.
2. 闪烁体几何形状是板状的长方体, 其边长分别为  $a, b, D$ .  $D$  为厚度, 且满足  $a, b \gg D$ . 光收集面是截面比较小的面, 这对用光导或 BBQ 转换体来讲都是适合的.
3. 所求的荧光传输效率是在远离各个边界的位置上. 即荧光位置到各边界的距离大于闪烁体的厚度.

对于大面积闪烁计数器来讲, 上述假设是完全满足的. 图 1 为这种闪烁体示意图,  $S$  面是光接收面. 距  $S$  面为  $y$  处的一点各向同性地辐射出荧光. 为计算荧光传输到  $S$  面上的效率, 以该点为顶点的  $4\pi$  立体角分为六个圆锥, 并分别为  $A, B, C$  和  $A', B', C'$ , 如图 2 所示. 下面分别讨论各个锥中荧光传输到  $S$  面的效率.

1.  $A$  锥.  $A$  锥是对  $S$  面而言锥角小于  $\alpha_c$  的锥. 在此锥中的荧光都以小于全反射临界角  $\alpha_c$  的角度投射到  $S$  面上. 不论  $S$  面外界是空气还是其他介质锥中的荧光均可从  $S$  面上透射出去, 其荧光占的比例就是  $\alpha_1$ . 这部分荧光到达  $S$  面的平均光程为  $\bar{L}_A$ :

$$\begin{aligned}\bar{L}_A &= \frac{1}{4\pi\alpha_1} \int_0^{2\pi} \int_0^{\alpha_s} \frac{y}{\cos\theta} \sin\theta d\theta d\varphi \\ &= \frac{n \ln \frac{n}{m}}{n-m} \cdot y = \beta_1 \cdot y\end{aligned}\quad (5)$$

此外,  $A$  锥中荧光到达  $S$  面前经过了与  $S$  面垂直的侧面(主要是上、下面)的多次全反射。其平均全反射次数  $\bar{N}_A$  为:

$$\begin{aligned}\bar{N}_A &= \frac{1}{\pi\alpha_1} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\alpha_s} \frac{y}{D} \operatorname{tg}\theta \cos\varphi \sin\theta d\theta d\varphi \\ &= \frac{1 - \ln \frac{m}{n}}{\pi} \cdot \frac{y}{D} = \gamma_1 \frac{y}{D}\end{aligned}\quad (6)$$

这样,  $A$  锥中荧光到达  $S$  面的效率为

$$\varepsilon_1 = \alpha_1 e^{-\frac{\bar{L}_A}{\lambda}} u^{\bar{N}_A} = \alpha_1 e^{-\frac{\beta_1 y}{\lambda}} u^{\gamma_1 \frac{y}{D}}\quad (7)$$

式中  $\lambda$  为闪烁体的本征衰减长度,  $u$  为全反射效率。

2.  $B$  锥.  $B$  锥是  $\alpha_s < \theta < \frac{\pi}{2} - \alpha_s$  的锥。若闪烁体外面是空气介质, 此锥中的荧光都满足全反射条件, 无法从  $S$  面上透射出去。只有当  $S$  面与折射率相同的介质光学接触时, 这个锥中的荧光才会从该面上透射出去。  $B$  锥的立体角为

$$Q_B = \int_0^{2\pi} \int_{\alpha_s}^{\frac{\pi}{2}-\alpha_s} \sin\theta d\theta d\varphi = 2\pi \frac{m-1}{n}$$

$B$  锥中荧光占全部由该点辐射出去的荧光的比例为:

$$\alpha_2 = \frac{Q_B}{4\pi} = \frac{1}{2} \frac{m-1}{n}\quad (8)$$

$B$  锥中荧光到达  $S$  面的平均距离为  $\bar{L}_B$

$$\begin{aligned}\bar{L}_B &= \frac{1}{Q_B} \int_0^{2\pi} \int_{\alpha_s}^{\frac{\pi}{2}-\alpha_s} \frac{y}{\cos\theta} \sin\theta d\theta d\varphi \\ &= \frac{n \ln m}{n-1} \cdot y = \beta_2 \cdot y\end{aligned}\quad (9)$$

同样可以求出这个锥中荧光到达  $S$  面之前所经历的平均全反射次数  $\bar{N}_B$ 。

$$\begin{aligned}\bar{N}_B &= \frac{1}{Q_B/4} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_{\alpha_s}^{\frac{\pi}{2}-\alpha_s} \frac{y}{D} \operatorname{tg}\theta \cos\varphi \sin\theta d\theta d\varphi \\ &= \frac{2}{\pi} \left( \frac{n \ln \frac{n-1}{m(n-m)}}{m-1} - 1 \right) \frac{y}{D} = \gamma_2 \cdot \frac{y}{D}\end{aligned}\quad (10)$$

$B$  锥中荧光到达  $S$  面的效率为

$$\varepsilon_2 = \alpha_2 e^{-\frac{\beta_2 y}{\lambda}} u^{\gamma_2 \frac{y}{D}}\quad (11)$$

3.  $C$  锥.  $C$  锥是  $\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_s\right) \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$  的锥。此锥中有一部分荧光可以从与  $S$  面相

垂直的四个侧面上透射出去。而其余部分的荧光经过全反射到达  $S$  面。下面分别求得立体角  $\Omega_C$ 、平均光程  $\bar{L}_C$  和平均全反射次数  $\bar{N}_C$ 。

$$\begin{aligned}\Omega_C &= \int_0^{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}} \sin\theta d\theta d\varphi - 2 \cdot \alpha_1 \cdot 4\pi \\ &= \frac{2\pi}{n} (1 - 2n + 2m)\end{aligned}\quad (12)$$

$$\begin{aligned}\bar{L}_C &= \frac{1}{\Omega_0} \int_0^{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}-\delta} \frac{y}{\cos\theta} \sin\theta d\theta d\varphi \\ &= \frac{2\pi y}{\Omega_0} \ln \frac{1}{n\delta} = n y \ln \frac{1}{n\delta}\end{aligned}\quad (13)$$

其中  $\Omega_0 = \frac{2\pi}{n}$ 。这里的参数  $\delta$  是为防止积分的发散而设置的。因为当  $\delta = 0$  时有一部分荧光与  $S$  面平行, 不可能与  $S$  面相交。当选取  $\delta$  值太小时, 由于积分发散使  $\bar{L}_C$  偏大, 当  $\delta$  值太大时, 则可能有一部分荧光没有考虑进去。为此计算了  $\delta$  值的选择对效率的影响, 计算表明选取  $\delta = 0.03$  较好。既对立体角影响很小又对效率影响也不大。这样得到

$$\bar{L}_C = n \left( \ln \frac{1}{n} + 3.5 \right) y = \beta_3 \cdot y \quad (14)$$

$$\begin{aligned}\bar{N}_C &= \frac{1}{\Omega_C/4} \int_0^{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}-\delta} \frac{y}{D} \operatorname{tg}\theta \cos\varphi \sin\theta d\theta d\varphi \\ &= \frac{2n}{\pi} \left[ \left( \ln \frac{2}{\delta} - 1 \right) - \ln \frac{1}{n-m} + \frac{m}{n} \right] \frac{y}{D} \\ &= \frac{2n}{\pi} \left( 3.2 - \ln \frac{1}{n-m} + \frac{m}{n} \right) \frac{y}{D} \\ &= r_3 \frac{y}{D}\end{aligned}\quad (15)$$

4.  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  锥。  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  锥中的荧光分别与  $A$ ,  $B$ ,  $C$  锥相对应。但这三个锥中荧光到达  $S$  面有如下几个区别: ①  $A'$  锥中荧光可以透过与  $S$  面相对的界面。只有该面外有反射层时才会经反射层反射后进入闪烁体而后到达  $S$  面。②  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  锥中的荧光到达  $S$  面的距离不应该是  $y$ , 而是  $2a - y$ , 因为这些锥中的荧光都是在与  $S$  面相对的面上反射后才能到达  $S$  面。由这二个区别, 不难得到传输效率。相应于  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$  三个锥的效率分别为  $\varepsilon'_1$ ,  $\varepsilon'_2$ ,  $\varepsilon'_3$ 。

$$\varepsilon'_1 = \alpha_1 e^{-\frac{\beta_1}{\lambda}(2a-y)} \cdot u \cdot r_1^{\frac{2a-y}{D}} \cdot V \quad (16)$$

$$\varepsilon'_2 = \alpha_2 e^{-\frac{\beta_2}{\lambda}(2a-y)} \cdot u \cdot r_2^{\frac{2a-y}{D}} \cdot u \quad (17)$$

$$\varepsilon'_3 = \alpha_3 e^{-\frac{\beta_3}{\lambda}(2a-y)} \cdot u \cdot r_3^{\frac{2a-y}{D}} \cdot u \quad (18)$$

式中  $V$  是反射层的反射率。最后, 我们得到总的荧光到达  $S$  面的效率:

① 如果  $S$  面是与光导或光电倍增管光学接触, 与  $S$  面相对的端面外有反射层, 反射系数为  $V$ , 距  $S$  面为  $y$  处一点荧光到达  $S$  面的效率为

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^3 (\varepsilon_i + \varepsilon'_i)$$

$$= \sum_{i=1}^3 \alpha_i e^{-\frac{\beta_i}{\lambda} y} u \tau_i \frac{y}{D} + \sum_{i=2}^3 \alpha_i e^{-\frac{\beta_i}{\lambda} (2a-y)} u \tau_i \frac{2a-y}{D} \cdot u + \alpha_1 e^{-\frac{\beta_1(2a-y)}{\lambda}} \cdot u \tau_1 \frac{2a-y}{D} \cdot V \quad (19)$$

② 如果与 S 面相对的端面是与黑色吸收体光学接触, 距 S 面为 y 处荧光到达 S 面的效率为

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^3 \alpha_i e^{-\frac{\beta_i}{\lambda} y} u \tau_i \frac{y}{D} \quad (20)$$

③ 如果 S 面外面是空气, 这时只有 A 锥中的荧光可以从 S 面上透过, 其效率为

$$\varepsilon = \alpha_1 e^{-\frac{\beta_1}{\lambda} y} u \tau_1 \frac{y}{D} \quad (21)$$

当端部有反射层时其效率为

$$\varepsilon = \alpha_1 (e^{-\frac{\beta_1}{\lambda} y} u \tau_1 \frac{y}{D} + e^{-\frac{\beta_1}{\lambda} (2a-y)} u \tau_1 \frac{2a-y}{D} \cdot V) \quad (22)$$

④ 如果闪烁体的侧面也有反射层, 反射系数为 V, 这样会使从侧面透射出去的荧光又被反射进入 S 面, 从而增加了效率. 这部分效率的增加为

$$\Delta\varepsilon = \alpha_1 (e^{-\frac{\beta_1}{\lambda} y} V \tau_3 \frac{y}{D} + e^{-\frac{\beta_1}{\lambda} (2a-y)} V \tau_3 \frac{(2a-y)}{D} \cdot u) \quad (23)$$

表 1 给出式中的  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  值.

表 1  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  值的综合表示

| $i$ | $\alpha$                                   | $\beta$                                  | $\gamma$   |
|-----|--|--|--|
| 1   | $\frac{1}{2} \left(1 - \frac{m}{n}\right)$ | $\frac{n \ln \frac{n}{m}}{n-m}$          | $\frac{\frac{1}{n} - \ln \frac{m}{n-1}}{\frac{2n}{\pi} \frac{m-n}{m-n}}$ |
| 2   | $\frac{1}{2n} (m-1)$                       | $\frac{n \ln m}{m-1}$                    | $\frac{2}{\pi} \left( \frac{n}{m-1} \ln \frac{n-1}{m(n-m)} - 1 \right)$  |
| 3   | $\frac{1}{2n} (1+2m-2n)$                   | $n \left( \ln \frac{1}{n} + 3.5 \right)$ | $\frac{2n}{\pi} \left( 3.2 - \ln \frac{1}{n-m} + \frac{m}{n} \right)$    |

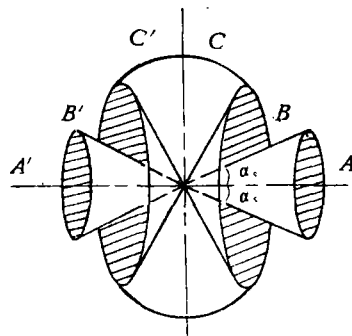


图 2 闪烁荧光的六个光锥

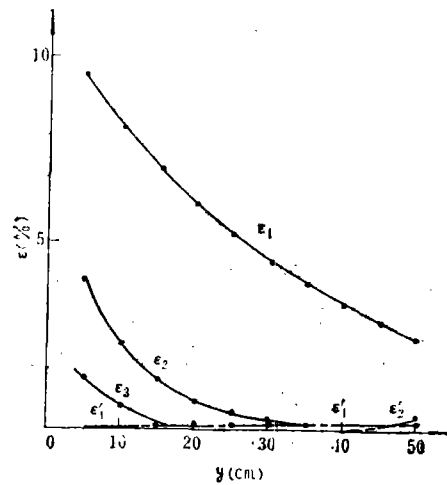


图 3  $\varepsilon_i, \varepsilon'_i - y$  关系曲线

其中  $m = (n^2 - 1)^{1/2}$ ,  $n$  为闪烁体的折射系数.

做为一个例子,图3给出  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$  的闪烁体,  $u = 0.98$ ,  $\lambda = 200\text{ cm}$  时的  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon'_1, \varepsilon'_2, \varepsilon'_3$  的值与  $y$  的关系.

### 三、本征衰减长度和技术衰减长度

大面积闪烁体的重要参数之一是闪烁体对荧光的透明度. 为表征透明度的好坏, 一般用“衰减长度”的概念. 由于定义或测量方法的不同而有两种不同的衰减长度——本征衰减长度和技术衰减长度. 本征衰减长度是指荧光在无限大体积闪烁体中衰减到  $e$  分之一时所传播的距离. 是表征闪烁体本身物理特征的参数. 我们公式中的  $\lambda$  就是这一参数. 有人<sup>[3,4]</sup> 用光学的办法测定了这一参数. 而技术衰减长度则是在特定闪烁体条件下用脉冲高度法测量的荧光衰减长度. 它不仅反映了闪烁体本身的物理特征而且与闪烁体样品尺寸, 几何形状, 表面条件有关. 因此, 不同情况下所得到的技术衰减长度很不一样, 不同的测量结果也很难进行比较. 严格来讲, 一定几何形状, 表面条件的闪烁体, 荧光衰减和传播距离之间不是真正的指数规律, 从公式(19)(20)和(22)可以看出,  $\varepsilon$ - $y$  的关系是复杂的. 为了解两种衰减长度之间的关系, 来看一个最简单的情况: 假设闪烁体四周全是空气, 接收面也与空气接触. 与接收面相对的面和黑色吸收体接触. 这时, 荧光传输效率为公式(7)所示. 在  $y$  处荧光强度为

$$I(y) = I_0 \alpha_1 c^{-\frac{\beta_1}{\lambda} y} u^{\frac{\gamma_1 y}{D}}$$

对  $y_1, y_2$  两处的荧光强度  $I(y_1)$  和  $I(y_2)$  取对数就可以得到技术衰减长度  $\lambda_{\text{技}}$

$$\lambda_{\text{技}} = \frac{y_2 - y_1}{\ln I(y_1) - \ln I(y_2)} = \frac{1}{\frac{\beta_1}{\lambda} - \left(\frac{\gamma_1 \ln u}{D}\right)}$$

由此可见,  $\lambda_{\text{技}}$  不仅与本征衰减长度有关, 而且与闪烁体厚度  $D$ , 全反射效率  $u$  有关. 仅当  $u = 1$  或  $D$  很大时,  $\lambda_{\text{技}} \approx \lambda / \beta_1 \approx \lambda$ . 当  $u$  很小,  $D$  也很小时, 即  $|\gamma_1 \ln u / D| \gg \beta_1 / \lambda$  时,  $\lambda_{\text{技}} \approx \frac{-D}{\gamma_1 \ln u}$ . 其技术衰减长度几乎完全由  $u, D$  来决定的了.

### 四、荧光在闪烁体中的传播时间

做为触发计数器或时间飞行计数器时, 大面积闪烁体中荧光传播的时间是非常重要的. 虽然荧光在介质中的速度为  $c/n$ , ( $c$  为真空中的光速)但是传播的距离则不是  $y$ . 从公式(5)(9)(14)等可以看出, 不同锥角的平均距离分别为  $\beta_1 y$  或  $\beta_1(2a - y)$ . 在做时间测量时, 总是分析脉冲的前沿. 而且  $A', B', C'$  及  $C$  锥的荧光比较晚, 强度又比较弱, 所以荧光中主要的成份是  $A$  锥和  $B$  锥中的荧光. 我们将这两个锥中的荧光传播平均距离按它们的强度做平均, 得到总的平均距离为

$$\bar{L} = \frac{\alpha_1 \beta_1 + \alpha_2 \beta_2}{\alpha_1 + \alpha_2} y$$

当  $n = 1.58$  代入,  $\alpha_1 = 0.113$ ,  $\alpha_2 = 0.0707$ ,  $\beta_1 = 1.33$ ,  $\beta_2 = 1.43$  求得  $\bar{L} = 1.25y$ . 即荧光在闪烁体中传播时间

$$t = \frac{\bar{L}}{c/n} = \frac{1.25y \times n}{c}$$

这个时间与闪烁体折射率有关,这一点与实验符合的很好.

## 五、提高计数器光输出效率的途径

为提高大面积闪烁计数器的探测效率,为改善信噪比,人们总是设法提高荧光的输出效率. 那么从那些方面来提高这一效率呢?

1. 闪烁体本征衰减长度对输出效率的影响. 图 4 是  $50 \times 50 \times 0.5 \text{ cm}^3$  的闪烁体,  $u = 0.97$ ,  $n = 1.58$  时不同本征衰减长度  $\lambda$  光输出效率曲线. 从图中不难看出, 当  $D$  比较小时,  $\lambda$  对光输出效率影响比较小, 效果很不明显. 当  $\lambda$  从 200 cm 提高到 400 cm 时, 输出效率仅增加 10% 左右.

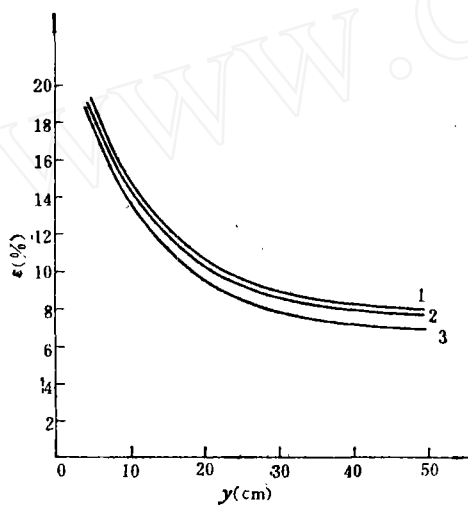


图 4 不同  $\lambda$  值的效率曲线

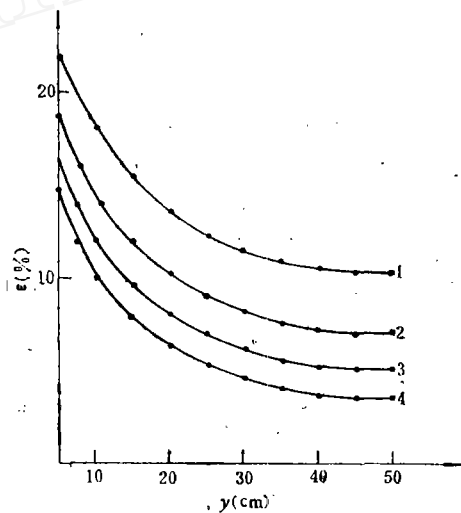


图 5 不同反射系数  $u$  的效率曲线

2. 闪烁体表面光洁度对光输出效率的影响. 图 5 是  $50 \times 50 \times 0.5 \text{ cm}^3$  闪烁体,  $\lambda = 250 \text{ cm}$ ,  $n = 1.58$ , 不同全反射效率  $u$  的荧光输出效率曲线. 当  $u$  从 0.95 提高到 0.97 时, 效率几乎提高一倍. 可见减少全反射损失对提高效率是十分明显的.

3. 减少多次全反射造成的光损失除提高表面光洁度外还可以增加闪烁体厚度, 由减少全反射的次数来实现. 计算证实了这一点. 增加厚度  $D$  可以大大改善光输出效率. 图 6 为  $50 \times 50 \text{ cm}^2$  大小的闪烁体, 厚度分别为 0.1, 0.2, 0.4, 0.5 cm,  $u = 0.98$ ,  $n = 1.58$  时效率曲线. 当  $D$  从 0.2 cm 增加到 0.4 cm 时效率提高了一倍.

4. 闪烁体厚度一定, 长度  $a$  增加时也会影响荧光传输效率. 图 7 为不同长度, 厚度均为 0.5 cm,  $u = 0.98$ ,  $n = 1.58$  时的效率曲线. 随着长度增加, 效率有所下降.

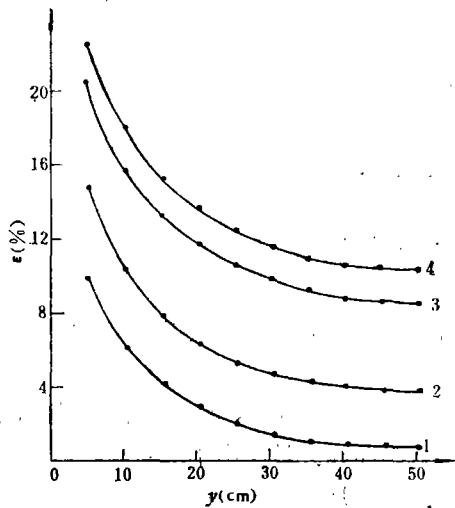


图6 不同厚度D的效率曲线

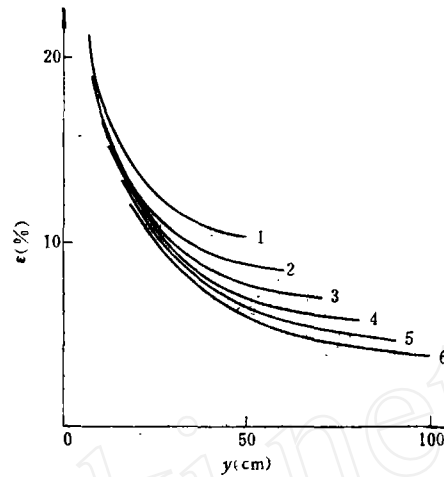


图7 闪烁体长度对效率的影响

## 六、理论计算和实验比较

到目前为止,还没有关于大面积闪烁体中荧光传输效率的定量计算或这方面的实验值。实际上绝对地测量其效率也是很困难的。公式中的参数  $u$ 、 $\lambda$  的测量值也很不完整。公式中  $\lambda$  是一常数与  $y$  无关是很大的近似。由于荧光光谱很宽,  $\lambda$  是  $y$  的函数。反映到公式中必须用  $\lambda(y)$  来代替常数  $\lambda$ 。文献3给出了  $\lambda_{110}(y)$  的实验值。计算 NE 110 闪烁体时就使用了这一实验值,并假设国产 ST 401 闪烁体为  $\lambda_{110}(y)/2$ , 而 NE 104 闪烁体的  $\lambda$  值为  $\lambda_{110}(\lambda)/3$ 。下面是对 NE 104, NE 110 及 ST 401 闪烁体实验值与理论计算的比较。

1. 王曼<sup>[1]</sup>等测量了 NE 104 闪烁体  $50 \times 4 \times 1 \text{ cm}^3$  两端相对幅度比为 1.62。靠光电倍增管一端幅度为远端的 1.6 倍, 当假设  $u = 0.98$ ,  $V = 0.6$ ,  $\lambda_{104}(y) = \lambda_{110}(y)/3$  时这两端效率之比为 1.78。

2. 技术衰减长度反映了荧光传输效率随位置  $y$  的相对变化, 与效率相对大小无关。所以由理论曲线  $\epsilon-y$  求得技术衰减长度后再与实验值比较是很方便的。由  $50 \times 50 \times 0.5 \text{ cm}^3$  的 ST 401 闪烁体的  $\epsilon-y$  曲线求得 10 cm 到 40 cm 区间的技术衰减长度为 50.2 cm, 而实验值<sup>[2]</sup> 为 47.2 cm。

表 2

| 闪烁体型号  | 尺寸(cm)       | 技术衰减长度(cm) |     |
|--------|--------------|------------|-----|
|        |              | 实验值        | 理论值 |
| NE 110 | 142×30.5×2.5 | 194        | 181 |
| NE 102 | 142×30.5×2.5 | 128        | 119 |
| NE 110 | 50×4×1.25    | 135        | 127 |



3. 同样的方法计算了 NE 110, NE 102 闪烁体的技术衰减长度, 并和实验值<sup>[5,6]</sup> 做了比较. 表 2 为计算结果和实验值.

## 七、结 束 语

荧光在闪烁体中的传输是一个很复杂的过程, 因此要精确地计算其传输效率是很困难的. 不少文章只有定性地说影响效率的因素而无定量的计算. 本文基于平均光程和平均全反射次数的概念提出了各种情况下荧光传输效率的公式. 虽然做了很多近似, 对大面积闪烁计数器的性能研究, 对计数器的设计, 制作等方面都是很有意义的. 当然工作还是很初步的. 对于  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  等系数的计算有待进一步探讨, 特别希望有这方面的实验的进一步检验.

叶铭汉、王祝翔、郑志鹏、过雅南等同志仔细地阅读了这篇文章, 并提出了宝贵的意见, 在此表示衷心的感谢.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 王曼等, 闪烁描述仪工作总结(高能物理研究所内部报告).
- [ 2 ] 郑志鹏等, 高能物理与核物理, 5(1981), 576.
- [ 3 ] 袁惠君, 塑料闪烁体“平均光衰减长度”的测量, 北京 261 厂内部报告.
- [ 4 ] C. Kettenring, *N. I. M.*, 131(1975), 451.
- [ 5 ] J. K. Wacker, *N. I. M.*, 68(1969), 131—134.
- [ 6 ] Quchl. H, Struckenberg. H. J, DESY-F72/9 (1970).

## RESEARCH ON FLUORESCENCE LIGHT TRANSMISSION IN LARGE AREA SCINTILLATORS

LI JIN

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

Fluorescence light transmission in scintillators is a very important problem and affects the characters of scintillation counter. Fluorescence light collection in a large area scintillator is discussed in detail. The formulas of fluorescence collection efficiency and the way which improves this collection efficiency are given.