

# 用小立体角法测量 $\beta$ 射线绝对活度

## 实验目的

掌握  $\beta$  射线绝对活度的一种测量方法---固定立体角法。

## 实验原理

小立体角法是早期使用过的放射性绝对活度测量方法。一般情况下，它的精度为 5-10%。由于它操作简单，所用仪器少，在设备条件差的单位都可以使用，而且整个装置可用于强度的绝对测量，因此至今尚在广泛应用。

如果放射源是各向同性的点源，那么只要用  $\beta$  计数管测得一定方向上一定立体角内放射源发出的  $\beta$  粒子数，就能推算出放射源强度。由于  $\beta$  粒子与物质的相互作用，改变了源与探测器之间的简单几何关系，因此测量  $\beta$  放射源绝对强度时，必须对测量结果进行许多修正。

用立体角法作绝对测量时如果合理设计和适当安排，可以不做下列影响因素校正：

- (1).  $\beta$  粒子在立体角架子和周围物质上散射所增加的计数；
- (2) 在放射源内的自吸收和自散射的影响；
- (3)  $\beta$  计数管效率不一致所带来的影响。

一般说来需要校正的有下列一些因素：

- (1) 几何效率；
- (2) 计数管窗的吸收
- (3) 计数管窗与源之间空气的吸收；
- (4) 计数管坪斜的影响；
- (5) 死时间引起的漏计数；
- (6)  $\beta$  粒子在源承托膜上反散射所增加的计数；
- (7) 本底影响。

假定  $n$  为所测得的计数率，则放射源的放射性活度  $A$  可由下式求得：

$$A = \frac{n - n_{\text{本底}}}{K_{\Omega} K_{\text{窗,空}} K_{\text{坪}} K_{\text{死}} K_{\text{反}}} \quad (1)$$

其中  $K_i$  为各种影响因素的校正因数， $n_{\text{本底}}$  为本底计数率。

(1) 几何因数  $K_{\Omega}$

假如放射源为点源，源又在准直孔的轴线上（见图 --1）， $\Omega$  为准直孔对源所张立体角，准直孔半径为  $r$ ，源到准直孔的距离为  $s$ ，则按照立体角的定义，应有

$$\Omega = \int d\Omega = \int_0^{2\pi} d\Phi \int_0^{\alpha} \sin \theta d\theta = 2\pi(1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

而相对立体角应为

$$\frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2}(1 - \cos \alpha) = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{s}{\sqrt{s^2 + r^2}}\right) \quad (3)$$

$K_{\Omega}$  即为相对立体角。

若源的面积相当大，以致不能把它当作点源，则相对立体角为：

$$\frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{(1+a)^{1/2}} - \frac{3ab}{8(1+a)^{5/2}} - b^2 \left[ -\frac{5}{16} \frac{a}{(1+a)^{7/2}} + \frac{35}{64} \frac{a^2}{(1+a)^{9/2}} \right] - \dots \right\} \quad (4)$$

式中  $a = \frac{r^2}{s^2 + r^2}$  ,  $b = \frac{R^2}{s^2 + r^2}$  , 其中  $R$  为源的半径, 若  $R$  不太大, 则用前三项即可。

#### (2) 窗厚, 空气吸收校正因数 $K_{\text{窗, 空}}$

由于  $\beta$  粒子进入计数管之前, 要经过源至窗之间一段空气, 同时计数管窗有一定厚度 ( $2-3 \text{ mg/cm}^2$ ), 因此要考虑修正。它包括两个部分: 一部分是窗的吸收, 另一部分是空气的吸收。做法是用不同厚度的吸收片放在准直孔上, 测出对应不同厚度  $d$  的计数率, 然后所得的计数率  $n$  减去本底计数率  $n_{\text{本底}}$  取对数作为纵坐标, 以吸收片的质量厚度加上计数管窗和空气的质量厚度为横坐标画出曲线, 将该吸收曲线外推至质量厚度等于零处的计数率  $n_0$ 。设  $n_{\text{窗, 空}}$  是不放吸收片时的计数率, 则

$$K_{\text{窗, 空}} = \frac{n_{\text{窗, 空}} - n_{\text{本底}}}{n_0 - n_{\text{本底}}} \quad (5)$$

这种校正方法往往会引起较大的误差。比如对  $^{60}\text{Co}$  来说, 窗和空气加在一起校正, 会使得  $K_{\text{窗, 空}}$  增大近 50%。

#### (3) 死时间校正因数 $K_{\text{死}}$

假定计数管每秒记录  $n$  个粒子, 实际进入管内的为  $n_0$ ,  $\tau$  是计数管的死时间, 则每秒漏记的粒子数为  $n_0 * n * \tau$ , 所以  $n_0 = n + n_0 * n * \tau$ , 即

$$n_0 = \frac{n}{1 - n\tau} \quad (6)$$

定义  $K_{\text{死}}$  如下:

$$K_{\text{死}} = \frac{n}{n_0} = 1 - n\tau \quad (7)$$

下面给出用双源法来求出死时间的公式:

$$\tau = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_{\text{本底}}}{2(n_1 - n_{\text{本底}})(n_2 - n_{\text{本底}})} \quad (8)$$

式中  $n_1$  为 I 号放射源的计数,  $n_2$  为 II 号放射源的计数,  $n_{12}$  为同时放置这两个放射源时的计数。

#### (4) 坪校正因数 $K_{\text{坪}}$

一个合用的计数管, 其坪斜应在  $0.01\% \sim 0.1\%$  每伏范围内。一般情况下, 由坪斜带来的影响是很小的。它的测量方法是测出 G-M 计数管的坪曲线, 由曲线的上升线段与坪斜线段的延长线交点得到该计数管的真计数  $n_0$  及所对应的电压  $V_0$ 。在计数管取工作电压  $V_1$  时的计数  $n$ , 代入下式可以得到坪斜:

$$\text{坪斜} = \left[ \frac{(n - n_0)}{n_0 (V_1 - V_0)} \right] \% \quad (9)$$

然后依据下式求得坪校正因数  $K_{\text{坪}}$ :

$$K_{\text{坪}} = 1 + [\text{坪斜} * (V_1 - V_0)] = \frac{n}{n_0} \quad (10)$$

(5)  $\beta$  粒子在源承托材料上反散射会增加的计数, 当  $\beta$  放射源的源承托材料是铝时, 反散射校正因数  $K_{\text{坪}} = 1.30$ 。

## 实验内容

1. 计数管坪斜影响的测定。
2.  $\beta$  吸收修正因数  $K_{\text{窗, 铝}}$  的测定。
3. 死时间修正因数  $K_{\text{死}}$  的测定。
4. 立体角  $\Omega$  的计算。

## 实验设备和步骤

3000 V 高压电源, 高压分配器, 计数器, 铅室, G-M 计数管及支架, 吸收片若干,  $^{90}\text{Sr}$   $\beta$  源二个 (放射源活性区直径为 10 mm, 源托材料为铝)。游标卡尺一把。

1. 检查和熟悉整个实验装置。
2. 打开 NIM 系统电源预热 10 分钟, 检查计数器工作是否正常。
3. 打开高压电源预热 10 分钟, 然后慢慢增大计数管的电压, 确定计数管开始计数的电压, 从此开始以 5 - 10 V 的步长测出计数管的坪曲线, 在进入坪区后, 加压步长可以适当加大。
4. 在计数管坪曲线的  $1/3 - 1/2$  处选定工作电压, 并测量 5 分钟本底;
5. 测量待测源的每分钟计数。
6. 用吸收片测量吸收曲线。
7. 用双源法测定计数管的死时间。
8. 再测量本底 5 分钟。
9. 关闭所有电源, 分别量出放射源到准直光栏的距离和准直光栏的直径, 以及放射源到计数管云母窗的距离。

## 实验数据处理

用测得的各种数据代入有关公式, 分别计算出  $K_{\Omega}$ ,  $K_{\text{窗, 铝}}$ ,  $K_{\text{死}}$ ,  $K_{\text{坪}}$  等校正因数, 然后代入 (1) 式, 即可求出该  $\beta$  放射源的绝对活度。

## 注意事项

$\beta$  放射源一般是开放源, 因此严禁用手直接拿取放射源, 必须用镊子进行放射源的各种操作。

## 思考题

1.  $\beta$  放射源均伴有  $\gamma$  射线, 在做  $\beta$  放射源绝对活度测量时, 应如何消除它的影响?
2. 本实验中的  $K_{\text{窗, 铝}}$  校正因数有较大的误差, 你考虑做怎样的改进?