

# 用符合测量法测量 $^{60}\text{Co}$ 绝对活度

徐维 06307050011

**摘要：** 运用双探头  $\beta$ - $\gamma$  符合法记录一段时间内  $\beta$  监测道、 $\gamma$  监测道和符合监测道的计数，并且因考虑到偶然符合、 $\gamma$ - $\gamma$  符合、本底符合等影响而采用一些修正，最终用修正后的计数得到  $^{60}\text{Co}$  的绝对活度。经测量，本实验中所用样品的绝对活度为 2273.55 次/秒，即  $6.1 \times 10^{-8}$  居里，相对误差为 3.7%。

**关键词：** 核物理  $^{60}\text{Co}$  绝对活度  $\beta$ - $\gamma$  符合法

## 引言：

用两个或两个以上不同的探测器来记录两个或两个以上同时发生的、相互关联的原子核事件，称为符合测量。符合测量技术在核物理中有十分广泛的作用，比如可以用来确定核反应过程中反应物的能量和角分布、研究核衰变机制、测量核的放射性活度等。上世纪 60 年代以来，由于快电子学、多道分析器和多参数分析系统的发展，以及电子计算机在核实验中的应用，符合测量技术已成为实现多参数测量必不可少的实验手段。

核的放射性活度为核在单位时间内的衰变次数，原则上可以用闪烁体计数器或者 G-M 计数器进行绝对测量。但是，因为有很多因素会对绝对测量的结果产生影响，比如探测器对放射源所张的立体角、探测器的计数效率、计数分辨时间、散射和吸收等，同时这些因素又很难被准确测定，因此使用绝对测量来得到核的绝对活度的方法实现起来相当困难。

但是，对于衰变过程中有级联辐射的放射性元素，用符合测量法就避开了上述这些困难，同时方法也十分简单。通过对符合测量装置的一些改进，如采用  $4\pi$   $\beta$ - $\gamma$  符合测  $^{60}\text{Co}$  的绝对活度，精度可达 0.1% 的精度。

本实验所采用的是最基本的双探头  $\beta$ - $\gamma$  符合测量，虽然无法达到  $4\pi$   $\beta$ - $\gamma$  符合测量的精精度，但是所测得  $^{60}\text{Co}$  的绝对活度的相对误差已经控制在 4% 之内，并且可以通过延长测量时间进一步减少不确定度，因而这种方法不失为一种较精确、同时又较简单的测量  $^{60}\text{Co}$  的绝对活度的方法。

## 正文：

由于探测器的输出脉冲总有一定的宽度，因此在实际测量中，能够引起符合的两个或多个脉冲并非一定要求是同时发生的，而是可以相隔一定时间  $t$ ，我们把能够被符合电路当作符合事件记录的两个脉冲的最大起始时间间隔  $t$  称为符合装置的分辨时间  $\tau$ ，它的大小与输入脉冲的形状、持续时间、符合电路的性能有关。因为分辨时间的存在，使得我们在记录符合事件时，不仅记录了有内在的因果关系的同时性较好的事件（这种符合输出称为真符合），也记录了在时间上没有规律性的，只是相隔时间小于分辨时间的事件（这种符合输出称为偶然符合）。在进行符合计数时，我们应该减去由偶然符合引起的计数。对于双道符合电路的情况，令  $n_1$ 、 $n_2$  分别为第 I 道和第 II 道的平均计数率，则偶然符合的计数率可以由  $n_{\text{偶然符合}} = 2\tau n_1 n_2$  计算得到，其中  $\tau$  为符合装置的分辨时间。因此为了要正确估计偶然符合的计数率，需要在进行符合测量之前先测得分辨时间。

图1是本实验用到的符合装置方框图。两个探头将探测到的射线粒子转换为电信号，经过线性放大器和单道分析器的甄别，再进行延迟、成形后，使输出到符合电路的脉冲成为与探头的输出信号的形状和大小无关，只在时间上有一一对应关系的矩型脉冲。实验中，先以脉冲发生器作为信号源，用示波器观察信号发生器、线性放大器、单道分析器和符合单元的输出信号，可以观察到各级的脉冲形状有所不同，但信号周期不变，从而保证了当用探头

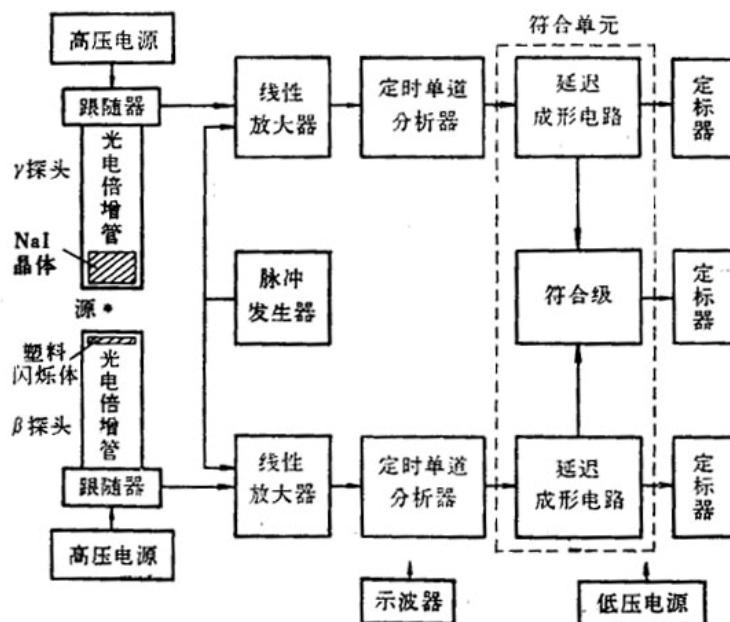


图1 β-γ符合装置方框图

测量放射源产生的信号时，其时间关系不变。本实验用北京核仪器厂的符合测量实验装置，包括NIM插件机箱FH0001型、精密脉冲产生气FH1013A型、3kV高压电源FH1073A型2个、线性放大器BH1218型2个、定时单道分析器FH1007A型2个、符合电路BH1221型、低压电源BH1222等、还有β和γ闪烁探头，100MHz示波器，电脑及放射源、铝片（塑料片）等。

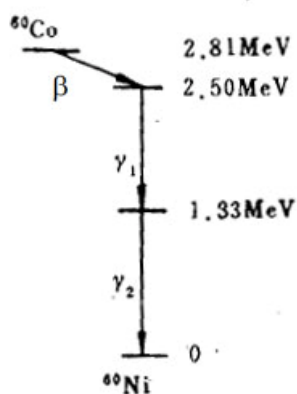


图2  $^{60}\text{Co}$  衰变图

当 $^{60}\text{Co}$ 衰变时，同时放出β和γ射线，称为级联辐射，其衰变图如图2所示。两个探测器都采用闪烁计数器，β探测器用塑料闪烁体，用来探测β粒子，它对γ射线虽灵敏，但探测效率低。γ探测器用NaI(Tl)闪烁体，外加铝屏蔽罩，将 $^{60}\text{Co}$ 发出的β射线完全挡住，只能测量γ射线。

当用脉冲发生器和示波器观察到各级脉冲信号周期不变后，将信号源换成 $^{60}\text{Co}$ ，用示波器分别观察线性放大器、定时单道的输出信号，并通过调节放大器的放大倍率和单道的阈值，使最后输出的信号有适宜的强度和清晰度。然后采用测量瞬时符合曲线的方法来测定符合分辨率。具体方法为，用示波器观察其中一个监测道的输出脉冲，调节符合电路的符合成形时间，使脉冲宽度约为0.2—0.5微秒。固定

符合电路任一道“延时”于某一中间位置，改变另一道的“延时”，并在每一次改变后测量该延时位置处的符合计数，得到瞬时符合曲线。该曲线的半高宽即为  $2\tau$ 。

然后测量  $^{60}\text{Co}$  的活度，表达式为： $A_0 = n_\beta n_\gamma / n_{\beta\gamma}$ ，其中  $n_\beta$  为  $\beta$  道的计数， $n_\gamma$  为  $\gamma$  道的计数， $n_{\beta\gamma}$  为符合计数。要测准活度，还要进行一系列的修正，因为实际测到的符合计数中还包含偶然符合计数，本底符合计数及  $\gamma$ - $\gamma$  符合计数，另外要分别扣除 2 个道的本底计数。在  $\beta$  道的计数中还要扣除  $\gamma$  射线进入  $\beta$  探测器引起的计数。因此实验分成三个步骤：

1. 放上放射源，在分辨时间不变的情况下，第一次测出  $n_\gamma(\gamma)$ ,  $n_\beta(\beta)$  和  $n_{\beta\gamma}(\beta, \gamma)$ 。
2. 在  $\beta$  探头和放射源之间加铝片，阻止  $\beta$  射线进入  $\beta$  探头，因此得到的  $\beta$  道的计数为本底和  $\gamma$  射线进入  $\beta$  探测器引起的，即为  $n_\beta(\gamma) + n_\beta(\text{本})$ ；测得的符合计数即为  $\gamma$ - $\gamma$  符合以及本底符合， $n_{\beta\gamma}(\gamma, \gamma) + n_{\beta\gamma}(\text{本})$ 。
3. 取走放射源，第三次测量，得到的  $\gamma$  道计数为本底计数， $n_\gamma(\text{本})$ 。

修正后的放射源表达式为：

$$A_0 = \frac{[n_\beta(\beta) - n_\beta(\text{本}) - n_\beta(\gamma)][n_\gamma(\gamma) - n_\gamma(\text{本})]}{[n_{\beta\gamma}(\beta, \gamma) - 2\tau n_\beta n_\gamma - n_{\beta\gamma}(\gamma, \gamma) - n_{\beta\gamma}(\text{本})]}$$

以下是瞬时符合曲线测量以及  $^{60}\text{Co}$  绝对活度测量的实验数据和结果：

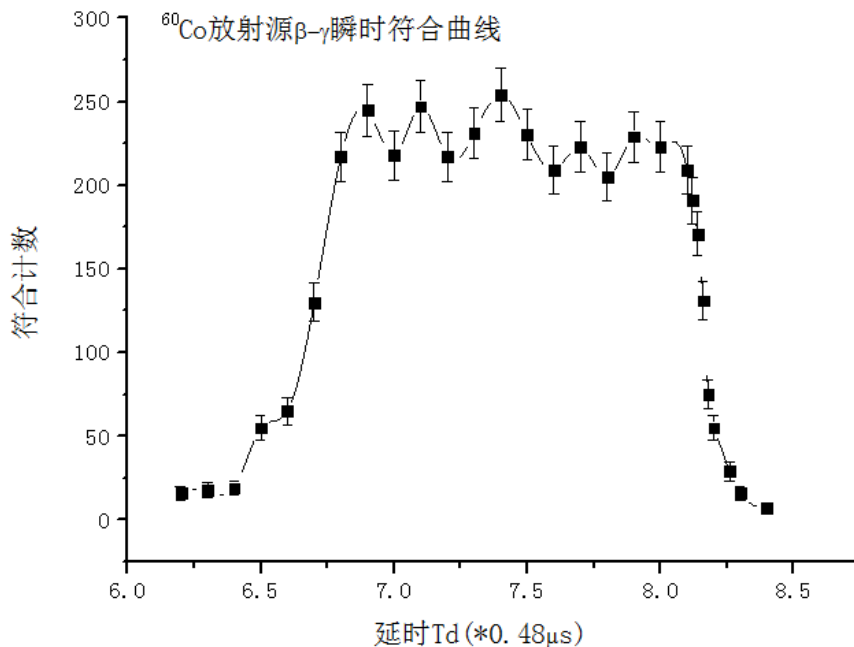


图 3

图 3 为本实验中测得的  $^{60}\text{Co}$   $\beta$ - $\gamma$  瞬时符合曲线。测试时间为 100 秒，测得符合分辨时间  $\tau = 358 \text{ ns}$ 。

表一 测量  $^{60}\text{Co}$  绝对活度数据记录表

	$\beta$ 道计数	$\gamma$ 道计数	符合道计数	测量时间 $t/s$
第一次测量	12827 $N_{\beta}(\beta)$	61279 $N_{\gamma}(\gamma)$	714 $N_{\beta\gamma}(\beta, \gamma)$	300
第二次测量 在 $\beta$ 探头和放射源之间加铝片	3381 $N_{\beta}(\gamma) + N_{\beta}(\text{本})$	62052 $N_{\gamma}(\gamma)$	59 $N_{\beta\gamma}(\gamma, \gamma) + N_{\beta\gamma}(\text{本})$	300
第三次测量 取走放射源	2053 $N_{\beta}(\text{本})$	14119 $N_{\gamma}(\text{本})$	3 $N_{\beta\gamma}(\text{本})$	300

$^{60}\text{Co}$  绝对活度及其相对误差:

$$A_0 = [n_{\beta}(\beta) - n_{\beta}(\text{本}) - n_{\beta}(\gamma)] [n_{\gamma}(\gamma) - n_{\gamma}(\text{本})] / [n_{\beta\gamma}(\beta, \gamma) - 2\tau n_{\beta} n_{\gamma} - n_{\beta\gamma}(\gamma, \gamma) - n_{\beta\gamma}(\text{本})]$$

$$= \left( \frac{12827}{300} - \frac{3381}{300} \right) \times \left( \frac{61279}{300} - \frac{14119}{300} \right) / \left( \frac{714}{300} - 2 \times 358 \times 10^{-9} \times \frac{12827}{300} \times \frac{61279}{300} - \frac{59}{300} \right)$$

$$= 2273.55 / \text{秒}$$

$$V_{A_0} = \sqrt{V_{\beta}^2 + V_{\gamma}^2 + V_{\beta\gamma}^2} \approx V_{\beta\gamma}(\beta, \gamma) = \frac{1}{\sqrt{N_{\beta\gamma}(\beta, \gamma)}} = \frac{1}{\sqrt{714}} = 3.7\%$$

从绝对活度的误差公式可以看到, 相对误差随着符合计数的增加而减少。对于同一套仪器, 符合计数率不会发生太大的变化, 因此可以通过增加测量时间减少误差。本实验中的符合计数率为  $714/300=2.38/s$ , 通过计算, 可以得到如下结果:

若要使相对误差小于 3%, 测量时间应大于 467s; 若要使相对误差小于 2%, 测量时间应大于 17.5min; 若要使相对误差小于 1%, 测量时间应大于 70min; 若要使相对误差小于 0.1%, 测量时间应大于 116h。

从以上数据可见, 虽然理论上可以通过延长测量时间不断减少测量相对误差, 但是随着相对误差的减小, 为了更进一步减小误差, 所要延长的时间将越来越多, 以至于很难在那样一段时间内保持实验条件的一致性。因此, 每一种符合测量装置存在一个合理的相对误差的限度, 通过增加符合计数率, 如增加探测器数量, 提高探测效率等, 可以减小这一限度。

从表一的数据中我们可以推测本底符合的成分。在第三次测量时, 我们得到了  $N_{\gamma}(\text{本})$  和  $N_{\beta}(\text{本})$ , 那么就可以通过  $n_{\text{偶然符合}} = 2\tau n_{\beta} n_{\gamma}$  计算相应的偶然符合计数率, 得到

$$n_{\text{偶然符合}}(\text{本}) = 2\tau n_{\beta}(\text{本}) n_{\gamma}(\text{本}) = 2 \times 358 \times 10^{-9} \times \frac{2053}{300} \times \frac{14119}{300} = 2.3 \times 10^{-4} / s$$

$$\ll n_{\beta}(\text{本}) = 3 / 100 = 0.01 / s$$

因此本底符合以真符合为主,可能是由于宇宙射线或者环境中的级联辐射或散射等产生的真符合造成的。

**致谢:**

感谢物理教学实验中心的姚红英老师对本次实验所做的指导。

**参考文献:**

- 1) 杨福家 原子物理学第三版 北京: 高等教育出版社, 2000
- 2) 吴思成, 王祖全 近代物理试验 北京: 北京大学出版社, 2001
- 3) 北京大学, 复旦大学 核物理试验 北京: 原子能出版社, 1989