

## 实验2-3 符合测量

# 一、实验目的

- 1、了解符合测量的基本概念及其原理；
- 2、掌握符合分辨时间的两种测量方法；
- 3、学会测量放射性活度的方法。

## 二、实验原理

### (一) 符合电路的工作原理

符合电路类似逻辑电路的“与门”，它有两个输入端（在n重符合时有n个输入端），只有当两个输入端同时有脉冲时，输出端才有脉冲。若两个输入脉冲不完全同时，它们的脉冲前沿就不完全重合，但只要两个脉冲的时间间隔小于分辨时间 $\tau$ ，一部分脉冲将重叠，符合电路也会输出一个符合脉冲。因此，分辨时间可以定义为符合电路能够产生符合输出的两道输入脉冲的最大时间间隔。相继发生于时间间隔小于 $\tau$ 的事件，也可称为符合事件或同时事件。则真符合和偶然符合可以定义为

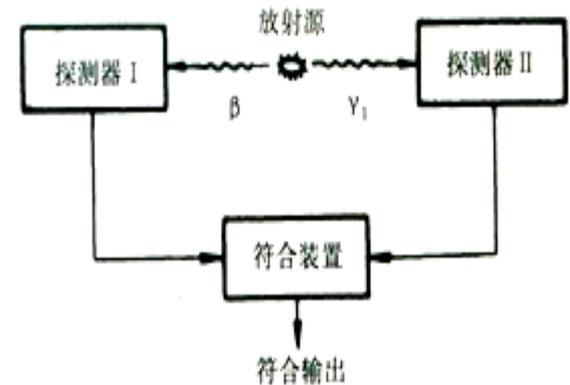
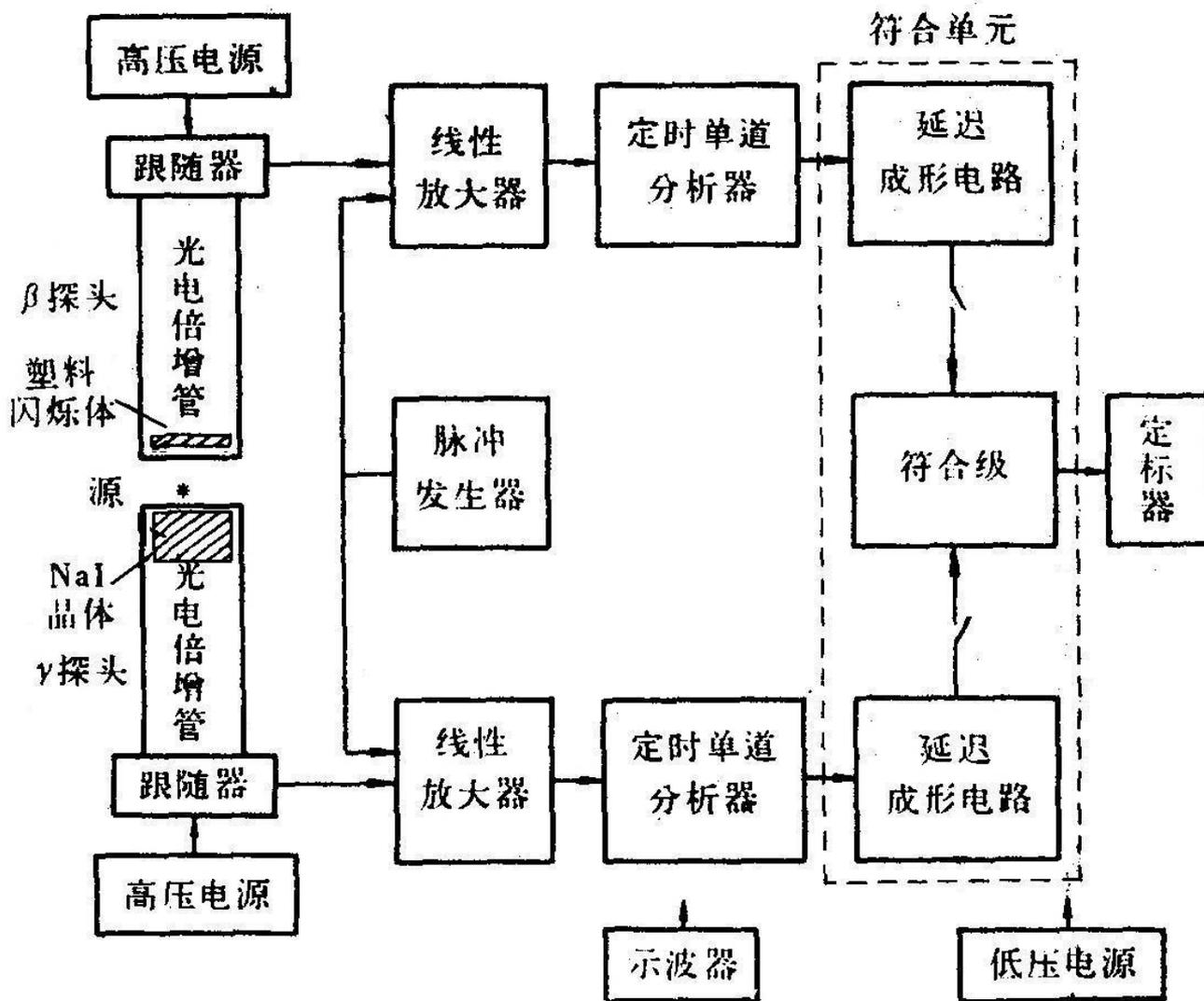


图 2.3.2 符合事件示意图

真符合：具有时间关联性的同时事件

偶然符合：没有时间关联性的同时事件

## (二) 符合装置示意图



### (三) 符合分辨时间

经成形后的脉冲总有一定宽度，任何符合电路都有一定的符合分辨时间，它与输入脉冲的宽度 $\tau$ 有关。在选择同时事件的脉冲符合时，当两个脉冲的起始时间差别很小，以致符合电路不能区分它们的时间差别时，或者说，只要两路脉冲在时间上有重叠部分时，就会被当作同时事件记录下来，如图2.3.4所示

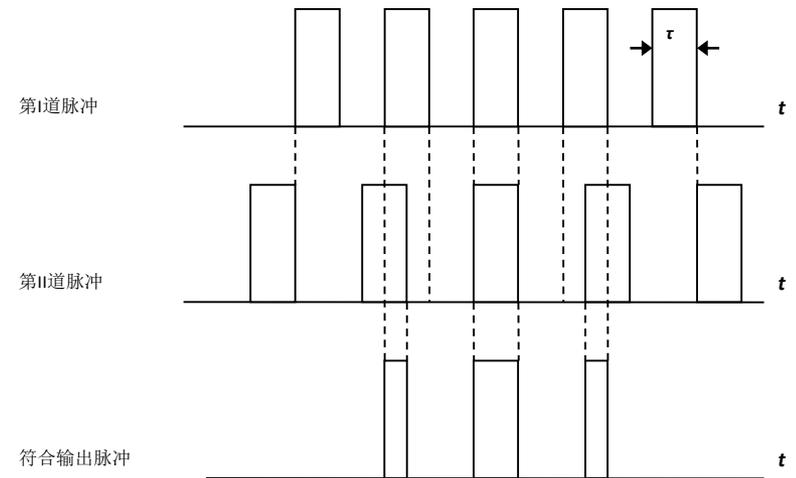


图2.3.4 符合脉冲输出示意图

可见，产生符合脉冲的条件不一定要要求核事件绝对地“同时”。我们把符合电路能够产生符合输出的两道输入脉冲的最大时间间隔 $\tau$ 称为符合分辨时间。所以，符合事件实际上是指相继发生于时间间隔小于符合分辨时间 $\tau$ 的事件，也可称为同时性事件。 $\tau$ 的大小由符合输入端的脉冲宽度、符合电路的工作特性决定，它决定了符合装置研究各种关联事件的精度。

# 1. 用瞬时符合法测符合分辨时间

在图2.3.3所示的装置中，用脉冲发生器作脉冲信号源，人为地改变两个输入道的相对延迟时间 $t_d$ ，即固定第 I 道的脉冲，调节第 II 道的延迟旋钮，使第 II 道脉冲自左向右与第 I 道脉冲发生符合。得到的符合计数率随延迟时间 $t_d$ 的分布曲线，称为延迟符合曲线。对于宽度为 $\tau$ 的脉冲，它们是在小于符合分辨时间 $\tau$ 内符合的瞬发事件，故测得的延迟符合曲线也称为瞬时符合曲线，如图2.3.5 (a) 所示。由于脉冲发生器产生的脉冲基本上没有时间离散，故测得的瞬时符合曲线为对称的矩形分布，其宽度为 $2\tau$ ，此时的 $\tau$ 称为电子学分辨时间。

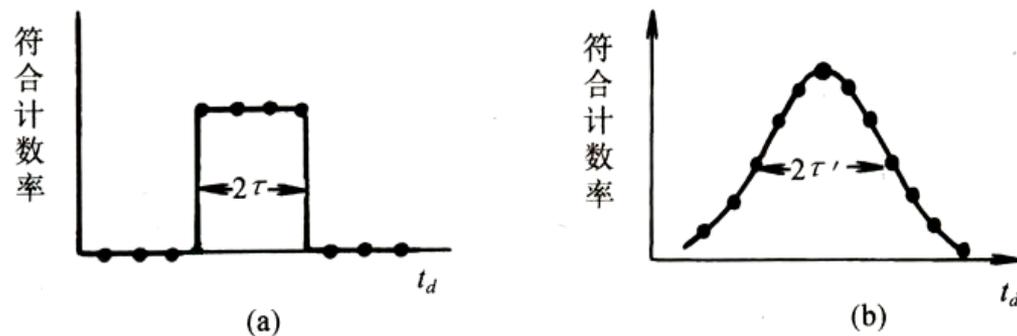


图 2.3.5 瞬时符合曲线

## (2) 偶然符合法测符合分辨时间

若对不可能产生真符合计数的两个信号源作符合测量时，符合脉冲均为**偶然符合**，可求得偶然符合计数率与符合分辨时间的关系。设进入符合电路的脉冲均为理想的矩形脉冲，其宽度为 $\tau$ ，再设第 I 道、第 II 道的平均计数率分别为 $n_1$ 、 $n_2$ 。则在 $t_0$ 时刻，第 I 道的一个脉冲可能与从 $t_0 - \tau$ 到 $t_0 + \tau$ 时间内进入第 II 道的脉冲发生偶然符合，如图2.3.5所示。所以在时间间隔为 $2\tau$ 的时间内，第 II 道可有 $2\tau n_2$ 个脉冲与第 I 道的 $n_1$ 个脉冲发生偶然符合，故偶然符合计数率 $n_{oc}$ 为：

$$n_{oc} = n_1 \cdot 2\tau n_2 = 2\tau n_1 n_2 \quad (2.3.1)$$

实际测得的符合计数率还包括本底符合计数率 $n_{cb}$ ，因此

$$n'_{oc} = 2\tau n_1 n_2 + n_{cb} \quad (2.3.2)$$

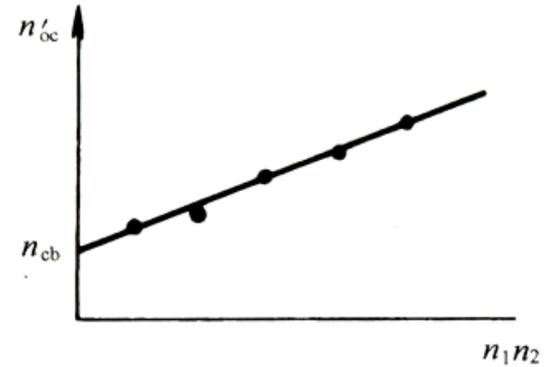


图 2.3.7  $n'_{oc} - n_1 n_2$  关系图

## (四) 真偶符合比

在进行符合测量时，符合计数中包含真符合计数和偶然符合计数。偶然符合计数是对真符合计数的干扰因素，两者的相对大小对实验结果的影响甚大。因此，有较大的真符合计数率与偶然符合计数率的比值（简称真偶符合比），是进行符合测量时必须考虑的问题。

现就 $\beta$ - $\gamma$ 级联衰变的情况来讨论。设放射源活度为 $A$

$$\beta\text{道的计数率: } n_{\beta} = \varepsilon_1 A$$

$$\gamma\text{道计数率: } n_{\gamma} = \varepsilon_2 A$$

$$\text{真符合计数率: } n_c = \varepsilon_1 \varepsilon_2 A$$

$$\text{偶然符合计数率: } n_{cc} = 2\tau n_{\beta} n_{\gamma} = 2\tau \varepsilon_1 \varepsilon_2 A^2$$

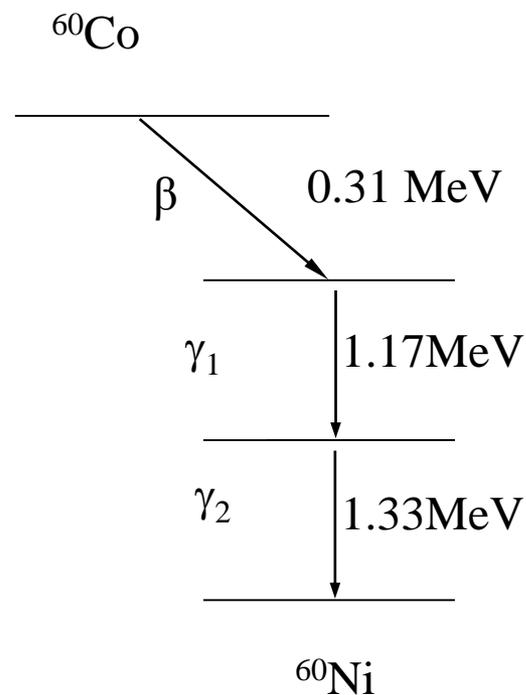
$$\text{真偶符合比 } \frac{n_c}{n_{cc}} = \frac{1}{2\tau A}$$

通常要求真偶符合比  $n_c/n_{cc} \geq 1$ ，所以有  $A \leq 1/2\tau$ 。这说明源强的大小与符合分辨时间的选择有一定的关系，测量较强的放射源，就要采用分辨时间  $\tau$  较小的符合电路。大致上， $\tau$  的大小与符合装置的成形时间的调节有关。

## (五) $\gamma$ - $\gamma$ 符合方法测量 $^{60}\text{Co}$ 放射源的活度

假如用单个计数器测量的活度（单位时间的衰变数），在测得计数率后要乘上立体角、探测效率等修正因子。若测量 $\beta$ 射线，还要考虑放射源本身的自吸收等因素。这些因子有些不易算准或测准。在满足一定条件时，用符合方法，可使测量的结果与这些因子无关，使结果准确。

本实验测量的 $^{60}\text{Co}$ 放射源衰变方式如图所示。 $^{60}\text{Co}$ 以5.3年的半衰期发射 $\beta$ 射线衰变成处于激发态的 $^{60}\text{Ni}$ ，后者在约 $10^{-11}$ 秒的时间间隔内接连发射两个能量分别为1.17MeV和1.33MeV的 $\gamma$ 射线跃迁到 $^{60}\text{Ni}$ 的基态。因中间态寿命很短， $\beta$ 、 $\gamma_1$ 和 $\gamma_2$ 可看成同时发射的。



用两个 $\gamma$ 探测器来探测 $\gamma_1$ 和 $\gamma_2$ 。可推知放射源的活度为

$$N_0 = N_I N_{II} / 2N_C \quad (1)$$

其中 $N_I$ 和 $N_{II}$ 为由 $\gamma_1$ 和 $\gamma_2$ 引起的两探测器的计数率， $N_C$ 为符合计数率

利用  $^{60}\text{Co}$  的  $\gamma$ - $\gamma$  级联衰变作符合测量也可以确定其绝对活度  $A$ 。设 I、II 道均使用同类型的  $\gamma$  探测器，简称  $\gamma_1$  道和  $\gamma_2$  道。 $\gamma_1$  道探测器对  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  粒子的探测效率分别为  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ ； $\gamma_2$  道探测器对  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  粒子的探测效率分别为  $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 。

则  $\gamma_1$  道的计数率：

$$n_1 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) A \quad (2.3.15)$$

$\gamma_2$  道的计数率：

$$n_2 = (\eta_1 + \eta_2) A \quad (2.3.16)$$

符合道的计数率：

$$n_{12} = (\varepsilon_1 \eta_2 + \varepsilon_2 \eta_1) A \quad (2.3.17)$$

整理以上三式可得

$$\frac{n_1 \cdot n_2}{n_{12}} = A \left( 1 + \frac{\varepsilon_1 \eta_1 + \varepsilon_2 \eta_2}{\varepsilon_1 \eta_2 + \varepsilon_2 \eta_1} \right) \quad (2.3.18)$$

因使用同一类的探测器，两道探测器对  $\gamma_1$  和  $\gamma_2$  射线的探测效率应是相同的，即

$$\varepsilon_1 = \eta_1, \quad \varepsilon_2 = \eta_2 \quad (2.3.19)$$

此外，如使用闪烁探测器，则其探测效率对核辐射的能量在相当宽的范围内为一常数。因  $^{60}\text{Co}$  源的  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  的能量相差很小，所以又可认为

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2, \quad \eta_1 = \eta_2 \quad (2.3.20)$$

整理式 (2.3.18) 可得

$$A = \frac{n_1 n_2}{2 n_{12}} \quad (2.3.21)$$

实验时对  $\gamma_1$  道、 $\gamma_2$  道和符合道的计数率还要进行偶然符合和本底的修正。设直接测得的  $\gamma_1$  道计数率为  $n_1'$ ， $\gamma_2$  道计数率为  $n_2'$ ，符合计数率为  $n_{12}'$ ，则

$$n_1 = n_1' - n_{1b}$$

$$n_2 = n_2' - n_{2b}$$

$$n_{12} = n_{12}' - 2\tau n_1' n_2' - n_{12b}$$

代入式 (2.3.21) 即可求得

$$A = \frac{(n_1' - n_{1b})(n_2' - n_{2b})}{2(n_{12}' - 2\tau n_1' n_2' - n_{12b})} \quad (2.3.22)$$

## 三.实验内容

(一) 用两种方法测符合系统的分辨时间

(二) 测 $^{60}\text{Co}$ 源的活度

# 四、思考题

1. 若所测放射源的活度约为 10 mCi，要求真偶符合比 $n_c/n_{oc} \geq 5$ ，符合装置的分辨时间应如何选择？为什么要先测定符合分辨时间？
2. 如果让探测器分别测量两个独立的放射源来求符合电路的符合分辨时间，具体实验方法如何？
3.  $^{137}\text{Cs}$  源可否作为偶然符合源？（参考 $^{137}\text{Cs}$ 的衰变纲图，注意其激发态寿命。）
4. 试讨论哪一个物理量的测量对活度 $A$ 的相对标准差影响最大？