

符合测量法测量放射源绝对活度

李之汇 07300300072

摘要：

讨论了符合测量实验的有关问题，对实验室 ^{60}Co 的活度进行了测量，并进行了误差分析。

关键词：

符合测量 放射源活度 分辨时间

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实验中一种常用的测量技术，它可以用来测量和反应中放出粒子的能量和角分布。

放射性活度是指放射性元素或同位素每秒衰变的原子数，是用来描述放射性核素特征的一个重要的辐射量。它反映的是放射性核素的核衰变率。本实验采用双探头符合测量法测量实验室 ^{60}Co 源的活度。

正文：

符合测量放射源活度的基本原理

^{60}Co 以 β 衰变到 ^{60}Ni 的激发态，其寿命极短，放出能量为 1.33MeV 和 1.17MeV 的两个光子而跃迁到基态。粒子和两个光子的发射，认为其是同时发生的时间相关事件。

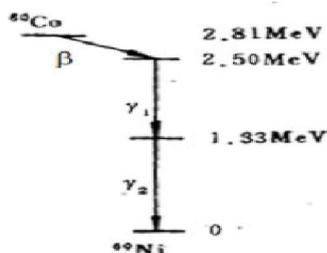


图2 ^{60}Co 衰变图

当粒子和光子同时进入 β 和 γ 探头时，符合电路就会输出一个符合脉冲。实验装置框图如下：

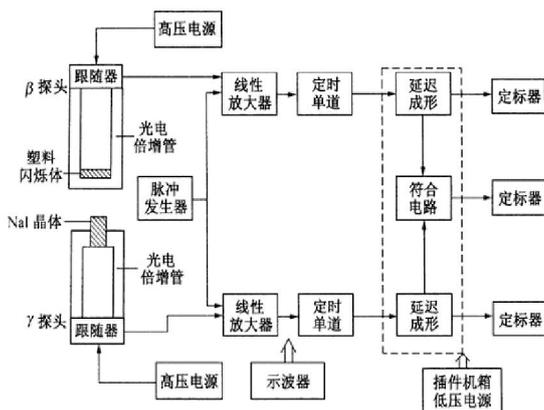


图3 β - γ 符合装置方框图

符合分辨时间

符合装置所能够区分的最小时间间隔，就称为符合装置的分辨时间，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。当两个脉冲的起始时间差别小于时，符合电路就会输出一个符合脉冲。如下图所示

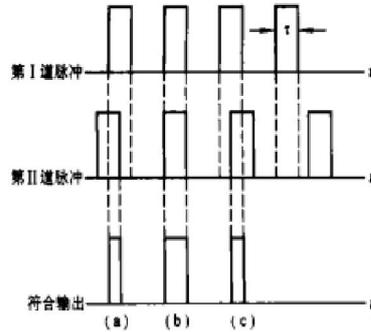


图 4 符合脉冲示意图

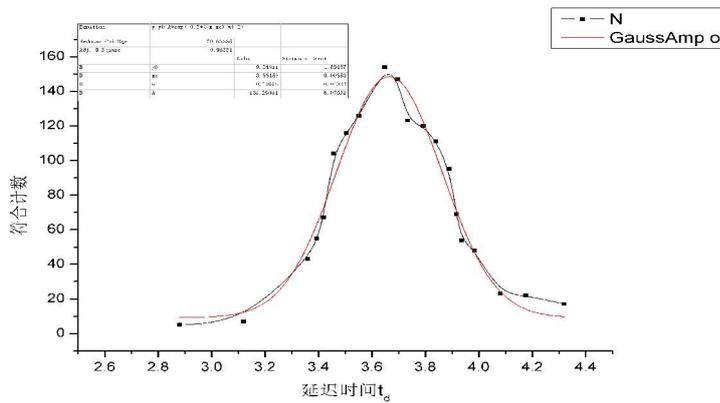
在时间上没有规律性的，只是相隔时间小于分辨时间的事件，也会被符合道纪录，这种符合输出称为偶然符合。在进行符合计数时，我们应该减去由偶然符合引起的计数。对于双道符合电路的情况，令 n_1 、 n_2 分别为第 I 道和第 II 道的平均计数率，则偶然符合的计数率可以由 $n_{\text{偶然符合}} = 2 n_1 n_2$ 计算得到。

瞬时符合法测符合分辨时间。

人为地改变两个输入道的相对延迟时间 t_d ，测量符合计数率，从而得到符合计数率随延迟时间 t_d 的分布曲线，其宽度即为 2τ 。

将探头信号输出接到符合电路的两道，通过探测两道的符合计数率来测量分辨时间，所得结果称为物理学分辨时间。

由于探头的响应时间存在时间离散，即两道信号的实际延迟时间不等于 t_d ，而是在 t_d 附近的小范围内，因此实际测量结果如下图，定义曲线的半高宽为 $2\tau'$ 。



对曲线进行 GaussAmp 拟合得出如上图像, $FWHM = 2 \sqrt{\ln 4} w = 0.464$

可得物理学分辨时间

$$= \dots$$

放射源活度的测量及本底修正

符合法放射源活度的计算公式为 $= \dots$

在实验中测准活度 A_0 ，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 符合计数，另外对 道和 道计数要扣除本底。在 道的计数中还要扣除 射线进入 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 道计数 N ()， 道计数 N () 和 符合道计数 N (,)。
 2. 在 探头和放射源之间加铝片，阻止 射线进入 探头，因此得到的 道的计数为本底和 射线进入 探测器引起的，即为 n () + n (本)；符合道测得的计数即为 符合以及本底符合， n () + n (本)。
 3. 取走放射源，第三次测量，得到的 道计数为本底计数， n (本)。
- 修正后的放射源表达式为：

$$= \frac{(\quad) - \text{本} - (\quad) (\quad) - \text{本}}{(\quad) - (\quad) - \text{本}}$$

实验测得数据：

	道 计 数 (60s)	道 计 数 (60s)	符 合 计 数 (150s)
第一次测量	N () 33899	N () 52899	N () 641
探头前加铝片	N () + N (本) 31195	N () 52839	N () + N (本) 113
取掉放射源	N (本) 30917	N (本) 16472	N (本) 48

代入表达式得

$$A_0 = 3335.64 \text{ s}^{-1}$$

A_0 符合泊松分布，因此相对标准误差

$$A_0 \quad (\quad) = \frac{(\quad)}{(\quad)} = 3.9\%$$

由此可见，增加计数能减小相对误差，可以采用延长测量时间的方法来减小相对误差。

内转换的影响

^{60}Ni 的激发态向下跃迁时，不一定放出 光子，而是将这部分能量转给核外电子，使电子离开原子，该现象称为内转换。内转换电子数与 光子数之比称为内转换系数。加入内转换修正对于 道计数没有影响。对于 道计数，实际 $n' = n / (1 + \quad)$ 。对于符合道计数，实际 $n' = n / (1 + \quad)$ 。代入计算公式可见，内转换效应对于

A_0 的测量值没有影响。但由于相当于减少了 n 计数率，会造成 n 相对误差的增大。对于 1.17MeV 的光子 $\approx 2.3 \times 10^{-4}$ ，对于 1.33MeV 光子 $\approx 1.8 \times 10^{-4}$ ，数量非常小，其影响可以忽略不计。

讨论

1. 由于电子线路的精度及非线性，对于分辨时间的测量有比较大的误差，也影响了放射源活度测量的精度。
2. 两个探头的时间离散造成的时间差基本符合 Gauss 分布。
3. 符合法测量有效避免了探头效率，内转换效应等的影响。

参考文献：

1. 杨福家 原子物理学 高等教育出版社
2. M.DEUTSCH&K.SIEGBAHN *Internal Conversion in Ni^{60}* Phys. Rev. 77, 5 (1950)
3. 程敏熙. 符合测量实验方法研究. 《大学物理》 Vol21 ,No.6 , (June 2002).
4. Wikipedia 正态分布，泊松分布条目