

双死时间方法测量电子俘获核素⁵⁴Mn 的活度

刘迪金 陶 枫 朱耀兹 陈细林 张 超 段曦微 杨巧玲

(中国原子能科学研究院放射性计量测试部, 北京, 102413)

双死时间方法是国际上 90 年代提出的 1 种新的符合方法, 与常规符合方法相比, 它没有符合线路, 计算简单, 测量结果有比较好的精度。本工作首次将它用到液闪测量, 取得了比较好的结果。

关键词 液体闪烁计数 符合测量 双死时间方法 ⁵⁴Mn

中图法分类号 TL 84

1 基本原理

双死时间方法^[1]的基本原理是: 同时记录 X 道、Y 道及这两道的相加信号, 并使 X 道、Y 道的死时间不大于相加道的死时间, 以确保在相加道记录的信号在 X 道或 Y 道中也能记录, 不能丢失或增加其简单的示意图示于图 1。



图 1 双死时间方法示意图

Fig. 1 Scheme of double dead-time method

设 X 道、Y 道和相加道的计数分别为 N_x 、 N_y 、 N_p , 相应的活时间为 T_x 、 T_y 、 T_p , 当 $\tau_1 = \tau_2$ 时, 其符合计数率 C 为:

$$C = N_x/T_x + N_y/T_y - N_p/T_p \quad (1)$$

用这种方法计算得到的活度 A 的统计不确定度为:

$$\text{Var}(A)/A^2 = (1 - \epsilon_x - \epsilon_y + 2\epsilon_x\epsilon_y)/CT + (1 + 2(1 - \epsilon_x)(1 - \epsilon_y)(1 + \frac{1}{\epsilon_x\epsilon_y})) \frac{T}{T} \quad (2)$$

刘迪金: 男, 29 岁, 核物理专业, 工程师

收稿日期: 1998-04-07 收到修改稿日期: 1998-04-15

其中 ϵ_x 、 ϵ_y 分别为 X 道、Y 道的计数效率, C 为符合计数率, T 为测量时间, τ 为三道的死时间 ($\tau = \tau_1 = \tau_2$)。与常规符合方法相比, 双死时间方法增加的第 2 项与 τ/T 有关。当测量时间较长, τ/T 很小时, 其统计不确定度增加很小。

扩展死时间的校正公式比较复杂, 一般采用实时测量^[2]。本工作采用将死时间宽度转换为周期的脉冲信号, 通过记录脉冲数的方法来测量死时间(图 2)。

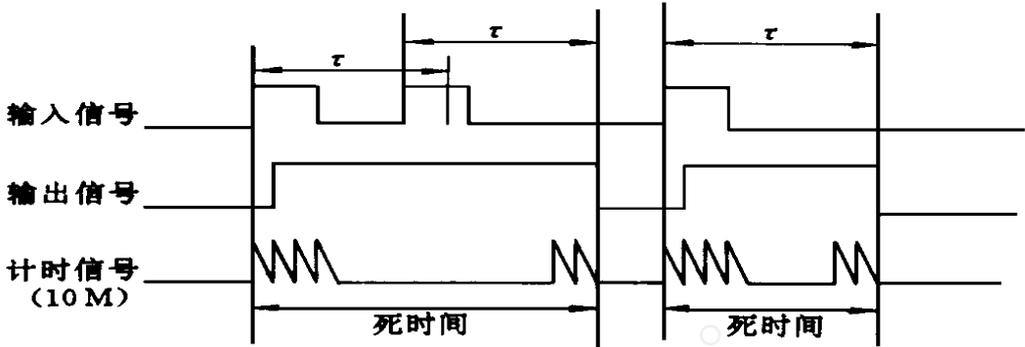


图 2 扩展死时间测量示意图

Fig 2 Schematic chart of extending dead-time

2 测量装置

测量装置是在 1 套旧 YS-01 液闪测量装置^[3]的基础上改进完成的(图 3)。改进后的 Y 道探测器由两个 $\phi 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 的 NaI(Tl) 晶体和 GDB 52-L 光电倍增管组成, 液闪 β (X) 道采用 RCA 450IV 4(RCA 8850) 型光电倍增管。

双死时间方法要求同时记录 X 道、Y 道和相加道(X+Y)道的计数, 保证三道的计数电路相互独立。因此双死时间方法需要 3 个独立的单道定标(或多道)。图 4 是装置的电子学线路框图。

在线路图中, X 道信号先放大后符合, 以扣除噪声; 两路 Y 信号先相加后放大; 相加道为 X 道和 Y 道的信号相加。这三路信号输入到各自的死时间控制电路门产生器, 门产生器输出经死时间控制后的事件脉冲信号和用于记录死时间宽度的计时脉冲信号, 三道共六路信号同时送到内插计算机的八路定标卡, 由计算机自动获取和处理数据。

门产生器内部的 10 MHz 时钟信号作为测量时基输入到定标卡, 使数据处理比较方便。

3 测量方法和测量结果

3.1 测量方法

效率外推在符合测量中的使用比较广泛^[4-7]。当测量⁵⁴Mn 核素时, Y 道卡 834.8 keV 全能峰, 其关系式如下:

$$\begin{aligned} N_x &= N_0[\epsilon_x + (1 - \epsilon_x)\varphi] \\ N_y &= N_0(1 - \varphi)\epsilon_y \\ N_c &= N_0\epsilon_x(1 - \varphi)\epsilon_y \end{aligned} \quad (3)$$

其中: N_x 、 N_y 分别为 X 道和 Y 道的计数率, N_c 为按式(1)计算的符合计数率, N_0 是⁵⁴Mn 源的

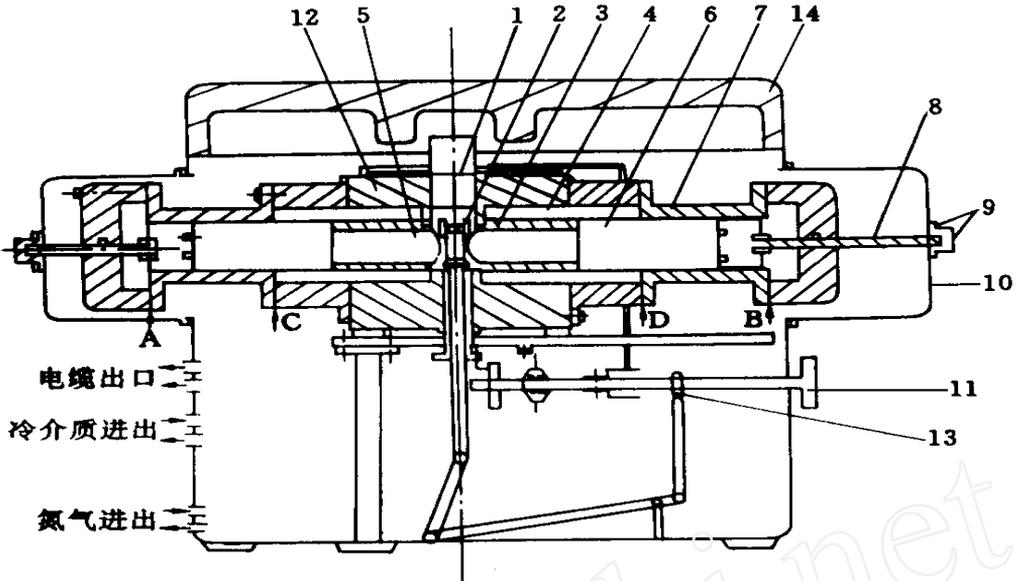


图3 装置示意图

Fig 3 Sketch of measurement system

- 1——快门; 2——样品室; 3——BN 陶瓷; 4——致冷器; 5——光电倍增管; 6——前置放大器;
 7——增补的铅屏蔽套管; 8——光电管控制杆; 9——光电管控制旋钮和刻度盘; 10——增补的箱体(由高压锅改成);
 11——样品及快门控制把手; 12——测量室(铅铸); 13——凸轮; 14——顶盖(铅铸)
 A、B——电缆出口; C、D——冷质、氮气出入口及数字温度计引线出口

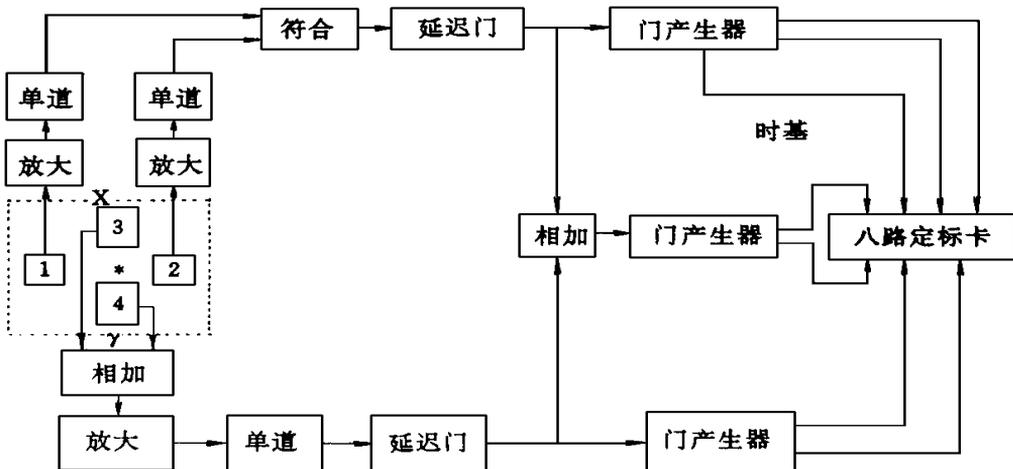


图4 电子学线路图

Fig 4 Sketch of the electric circuit

- 1, 2——RCA 450IV 4; 3, 4——NaI(Tl) 晶体

活度, ϵ_x 为 X 道对 ^{54}Mn 俄歇电子和 X 射线的探测效率, ϵ_y 为 Y 道的探测效率, φ 为 X 道对 ^{54}Mn γ 射线的探测效率。

故:

$$\frac{N_x N_y}{N_c} = N_0 \left(1 + \frac{1 - \epsilon_x \varphi}{\epsilon_x} \right) \quad (4)$$

其中 $\epsilon_x = N_c / N_x$ 当 $(1 - \epsilon_x) / \epsilon_x \rightarrow 0$ 时, $N_x N_y / N_c \rightarrow N_0$ 。通过测量一系列 X 道不同效率的点, 利用加权外推, 即可计算活度。

3.2 测量结果

对 ^{54}Mn 标准溶液长达半年的测量结果表明: 在 3 个月的放置期内溶液的稳定性有缓慢下降趋势, 之后逐渐趋于稳定。 ^{54}Mn 同一标准溶液多家测量结果相差较大, 最大值与最小值相差 3.4%, 本工作的测量结果在平均值附近 (表 1)。

表 1 多家测量结果的比对
Table 1 Comparison of measuring results by different labs

测试单位	测试方法	比活度/ $\text{kBq} \cdot \text{g}^{-1}$	归一到同一时刻的比活度/ $\text{kBq} \cdot \text{g}^{-1}$	不确定度 ($P = 0.683$) / %
中国计量院	4 π (ppc)X-Y	277.90	222.09	0.44
中国计量院	电离室	286.60	218.61	0.70
计量一级站	电离室	332.37	217.52	0.70
计量一级站	γ 谱仪	328.31	214.86	0.60
	平均值		218.27	
计量一级站	本装置		218.69	0.60

3.3 不确定度分析表

测量的不确定度分量有计数统计、源称重、死时间、本底和外推等, 其中统计不确定度是 A 类不确定度, 其它分量是 B 类不确定度。

表 2 表明: 统计不确定度和外推不确定度是合成标准不确定度的主要来源, 统计不确定度和外推不确定度与液闪道的探测效率有关。因此提高液闪道的探测效率, 可以有效地减少测量不确定度。

表 2 不确定度分析表

Table 2 Estimated uncertainty

不确定度来源	不确定度 / %
计数统计	0.30
源称重	0.02
本底	0.13
死时间	0.04
外推	0.50
合成标准不确定度	0.60

4 讨论

双死时间方法是法国 B. Chauvent 在 ICRM 90 会议上提出的, 之后他又发表文章介绍利用该方法测量衰变较为复杂的核素如何进行校正^[8]。总体来说, 双死时间方法还处于不断完善和不断发展的阶段。本文将该方法应用到液闪测量领域, 取得了比较好的结果; 但同样, 也还需要扩充到能够测量更多衰变较为复杂的核素, 还需要提高探测效率以减小测量的统计不确定度和外推不确定度。

参 考 文 献

- 1 Chauvenet B, Bouchard J. The Double Dead-time method, a New Coincidence Method for Activity Measurements Nucl Instrum and Methods, 1992, A 312: 53
- 2 Chauvenet B, Bouchard J, Vatin R, et al Measurement of High-activity Sources With $4\pi\beta\gamma$ Coincidence System. Nucl Instrum and Methods, 1987, A 259: 550
- 3 崔盛庭, 王依华. YS-01 多功能液闪测量装置及其高分辨特性. 核动力工程, 1987, 8(4): 89.
- 4 Szorenyi A, Zsinka A, Vagvolgyi J. Standardization of Pure-beta Emitting and Electron-capture Radionuclides by Liquid Scintillation Counting Nucl Instrum and Methods, 1996, A 369: 359
- 5 Chylinski A, Radoszewski T. Generalized $4\pi(\text{L.S})\beta\gamma$ Tracer Method for Standardization of Pure Beta Emitters Nucl Instrum and Methods, 1996, A 312: 336
- 6 Chylinski A. A New Version of the Tracer Technique for Absolute Measurements of EC Emitters Nucl Instrum and Methods, 1992, A 312: 59
- 7 阎春光. β 衰变核素活度绝对测定准确度的改善. 原子能科学技术, 1996, 30(5): 421.
- 8 Chauvenet B. Correction of the Isometric-state Effect Using the Double Dead-time Method in the Activity Measurement of ^{75}Se Nucl Instrum and Methods, A 339(1- 2): 394

ACTIVITY MEASUREMENT OF EC RADIONUCLIDE ^{54}Mn BY DOUBLE DEAD-TIME METHOD

Liu Dijin Tao Feng Zhu Yaozi Chen Xilin Zhang chao Duan Xiwei Yang Qiaoling

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-20, Beijing, 102413)

ABSTRACT

The double dead-time method has been used as a new coincidence technique since nineties. Comparing with classic coincidence method, it has the advantages of without use of coincidence circuit, simple calculation as well as better precision. This paper describes the application of the method to the liquid scintillation measurement of EC radioactive nuclide ^{54}Mn . Good results are obtained.

Key words Liquid scintillation counting Coincidence measure Double dead-time method ^{54}Mn