

电子俘获核素⁵⁷Co 的 绝对测量方法

喻以光 姚艳玲

(中国原子能科学研究院, 北京, 102413)

介绍了在 4π 高压正比计数器与碘化钠闪烁计数器符合装置上测量电子俘获核素⁵⁷Co 的效率外推法。测定了不同充气压力 and 不同工作电压对测量结果的影响。衰变率的合成不确定度为 0.4%。这一方法也可用于具有类似衰变图的低 Z 电子俘获核素的测量。

关键词 $4\pi\beta$ 高压正比计数器 电子俘获核素 效率外推法

⁵⁷Co 是一个电子俘获核素, 半衰期为 271 d, 主要发射 14.413 keV(分支比 9.64%), 122.061 keV(分支比 85.7%) 和 136.474 keV(分支比 10.47%) 三条 γ 射线。其中 122.061 keV 的 γ 射线是刻度锗 γ 谱仪低能区探测效率的重要射线。另一方面这个核素也是⁹⁹Mo-⁹⁹Tc^m 发生器中⁹⁹Tc^m 的监督源。具有较广泛的用途。

⁵⁷Co 通过电子俘获跃迁到⁵⁷Fe 的激发态, 相应地发射 $K_{\alpha 1}$, $K_{\alpha 2}$ 和 K_{β} X 射线。其中 $K_{\alpha 1}$ 和 $K_{\alpha 2}$ 能量约 6.4 keV, 绝对强度为 49%, K_{β} 能量为 7.1 keV, 绝对强度 6.56%。图 1 为⁵⁷Co 的衰变纲图。

能量为 6.4—7.1 keV 的 X 射线, 在常压 4π 正比计数器中的探测效率是很低的。伴随发射的俄歇电子受到源物质的自吸收和支撑膜的吸收, 探测效率变化很大。因此, 影响了衰变率测量的准确度。

为了提高测量精度, 采取了以下提高探测效率的措施。首先, 在制源方面, 利用电喷技术, 将硅溶胶均匀地喷涂到镀金的 VYNS 薄膜上, 以减少源的自吸收。其次, 提高 4π 正比计数器的充气压力, 使 4π 正比计数器工作在高气压条件下, 从而增大了对 X 射线的吸收, 提高了探测效率。

采用高压 4π X- γ 符合装置进行测量, 能获得最好的准确度。

1 原理和装置

根据符合测量的一般原理, 4π 计数器、闪烁计数器及符合三路的计数率可用下列公式表示:

收稿日期: 1994-01-24 收到修改稿日期: 1994-08-20

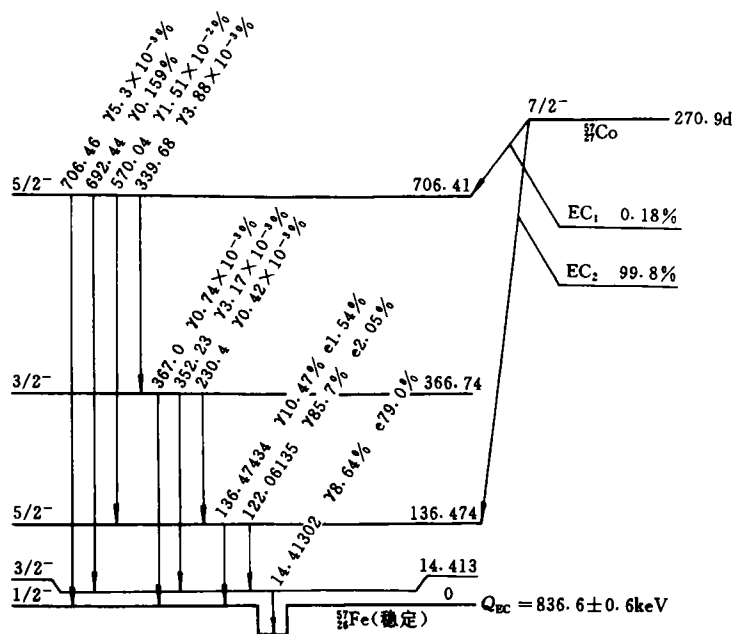


图 1 ⁵⁷Co 衰变纲图
Fig. 1 ⁵⁷Co decay scheme

$$N_x = N_0(\epsilon_x + (1 - \epsilon_x)\sum(\epsilon_{xyi} + \alpha_i \cdot \epsilon_{cei})/(1 + \alpha_i)) \quad (1)$$

$$N_y = N_0\sum\epsilon_{yi}/(1 + \alpha_i) \quad (2)$$

$$N_c = N_0\sum(\epsilon_x \cdot \epsilon_{yi} + (1 - \epsilon_x) \cdot \epsilon_{xyi} \cdot \epsilon_{yx})/(1 + \alpha_i) \quad (3)$$

其中 N_x, N_y 和 N_c 分别是 X 道, γ 道和符合道计数率; $\epsilon_x, \epsilon_{yi}$ 分别是正比计数器和闪烁计数器对 X 射线和第 i 分支的 γ 射线的探测效率; α_i 和 ϵ_{cei} 分别是第 i 分支的 γ 射线的内转换系数及正比计数器对内转换电子的探测效率; ϵ_{xyi} 是正比计数器对第 i 分支的 γ 射线的效率; ϵ_{yx} 是第 i 分支的 γ 射线在正比计数器和闪烁计数器中被同时探测到的效率, 近似地 $\epsilon_{yx} = \epsilon_{yi} \cdot \epsilon_{xyi}$, 由此得到

$$\frac{N_x \cdot N_y}{N_c} = N_0 \sum \frac{1 + ((1 - \epsilon_x)/\epsilon_x)(\epsilon_{xyi} + \alpha_i \cdot \epsilon_{cei})(1/(1 + \alpha_i))}{1 + ((1 - \epsilon_x)/\epsilon_x)(\epsilon_{xyi})^2} \quad (4)$$

在⁵⁷Co 衰变的 γ 发射中, 能量 14.413 keV 的 γ 射线内转换系数为 79%, 内转换电子能量 7—14 keV。效率 ϵ_{ce} 受源物质分布的影响很大, 很难准确测定。因此, 公式(4)右边求和部分准确计算较困难。对于这样的核素, 采用效率外推法是较有利的, 效率外推法的基本思想是: 用人为因素改变正比计数器对 X 射线的探测效率 ϵ_x 。当 ϵ_x 趋近 1 时, 公式(4)右边求和部分趋于 1。衰变率 $N_0 = N_x \cdot N_y / N_c$ 。

采用的高气压 $4\pi X-\gamma$ 符合装置是一个全密封型的探测系统。 4π 正比计数器可以承受 2 MPa 的充气压力。利用相互垂直的两支金属杆使待测薄膜源进入和退出 4π 高气压正比计数

器而不泄漏工作气体,即在换源时能保持气压不变,使工作条件保持稳定。装置的示意图示于图2。

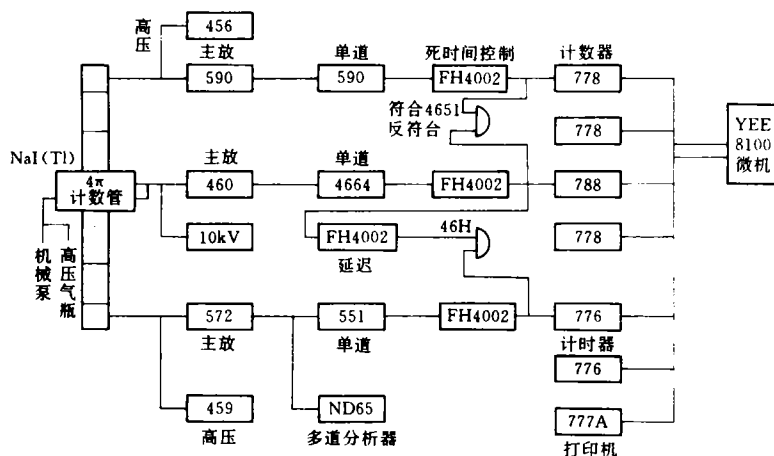


图2 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 符合装置

Fig.2 $4\pi\beta\text{-}\gamma$ coincidence system

闪烁计数器由两个 $\phi 75\text{ mm} \times 75\text{ mm}$ 碘化钠晶体闪烁探头组成。对 ^{137}Cs 的能量分辨率为10%。

高气压正比计数器和闪烁计数器有50 mm厚的铅屏蔽。在测量 ^{57}Co 的条件下(气压0.7 MPa, γ 道取122 keV + 136 keV光电峰), X道本底计数率为2—3/s, γ 道本底计数率为17—18/s。电子仪器全部为NIM插件,定标器计数直接输入微机进行处理。

2 测量步骤和结果

改变探测效率 ϵ_x 的方法通常有4种。(1)加吸收片,即对测量的薄膜源加盖吸收片,边测边加,使 ϵ_x 逐渐减小。吸收片可用镀金的VYNS膜和很薄的铝箔。开始加吸收片时,因 ϵ_x 变化快,宜采用VYNS膜。以后 ϵ_x 减小较慢,可改用铝箔。(2)增加源的厚度,也就是在制源溶液中加入非放载体,通过改变源的自吸收改变 ϵ_x 。(3)改变电子仪器的甄别阈。随着阈值增大,幅度较小的信号不能记录,效率 ϵ_x 也随之下降。(4)改变 4π 管工作气体压力的方法来改变 ϵ_x 。本工作采用(3)。

为了选择适合对 ^{57}Co 进行效率外推测量的工作条件,进行了两方面的试验。

1. 改变气压。充气压力从0.3 MPa改变到1 MPa。在每一个压力下测量坪曲线,选一个坪上的工作点,然后改变阈值进行效率外推测量,数据列于表1。

2. 在气压不变的情况下,选定坪曲线上几个不同工作电压,然后改变阈值作效率外推测量,结果也列于表1。

表1 不同工作气压和电压效率外推所得衰变率

Table 1 Decay rate of extrapolation with some pressure and voltage

工作电压/kV	气压/MPa	外推值/Bq·mg ⁻¹	工作电压/kV	气压/MPa	外推值/Bq·mg ⁻¹
0.3	3.8	547.83	5.10	0.7	560.91
0.4	4.3	548.12	5.30	0.7	562.78
0.5	4.6	549.90	5.55	0.7	562.99
0.7	5.3	543.53	5.80	0.7	561.51
1.0	6.5	547.67			

从表1可以看出,在不同气压和不同工作电压下,效率外推测量所得的衰变率在误差范围内是一致的,没有表现出随气压和工作电压变化的趋势。

根据以上的条件试验,选定工作气压0.7 MPa,工作电压5.5 kV,对⁵⁷Co进行了两次测量。第一次测量是在1993年1月4日到8日,选出了七块源,第二次测量在1993年2月9日到12日,共八块源,结果列于表2。所有测量值都归一到3月1日。第一、二次测量结果平均值为 $477.71 \pm 0.21\%$ 和 $475.94 \pm 0.19\%$,两次平均为 $476.82 \pm 0.14\%$ 。

表2 两次测量的测量值

Table 2 Value of two measurement

日期	源号	质量/mg	$N_0/\text{Bq}\cdot\text{mg}^{-1}$	归一值/ $\text{Bq}\cdot\text{mg}^{-1}$
1月4日	14	14.470	550.76	477.26
1月5日	5	14.312	550.14	477.94
1月6日	12	11.140	542.619	472.62
1月6日	11	14.980	544.516	474.27
1月7日	7	21.906	549.01	479.41
1月9日	9	10.766	546.99	480.10
1月10日	10	16.199	544.268	478.93
2月9日	11	22.118	502.358	477.31
2月9日	12	19.160	499.604	474.69
2月9日	13	23.265	501.187	476.19
2月9日	14	18.875	504.667	479.50
2月10日	9	18.342	498.073	474.45
2月10日	10	16.330	467.703	445.52
2月11日	8	17.450	495.774	473.47
2月12日	7	13.650	505.089	483.60

注:1月4—10日,平均值(归一)为 $477.71 \pm 1.02(0.21\%)$;

2月9—12日,平均值(归一)为 $475.94 \pm 0.90(0.19\%)$ 。

图3是一个典型的效率外推曲线。气压0.7 MPa,工作电压5.3 kV。数据见表3。

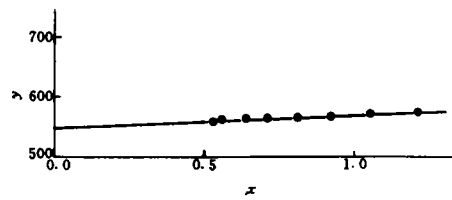


图3 外推曲线

Fig.3 Extrapolation curve

表3 效率外推值

Table 3 The value of efficiency extrapolation

r	0.529	0.557	0.636	0.712	0.812	0.923	1.05	1.21
y	559.89	561.49	462.77	564.18	565.60	568.06	572.63	576.10

3 误差分析

电子俘获核 ^{57}Co 的测量,除具有一般符合测量的误差外,效率外推所引入的误差是最重要的。其主要原因在于俄歇电子和内转换电子的能量很低, 4π 正比计数器输出的脉冲谱的形状与源的自吸收、所充气压和工作电压有很大的关系。外推曲线的斜率从百分之二点几到三点几。而且,测量点的波动也较大,远大于每个测量点的统计误差。在这两次测量中,大部分截距的误差(由每个测量点的方差和的平均值表示),都在1%左右。因此,若每批测量源的数目不少于7个,则由效率外推引起的误差大约为0.4%。

表4列出各项不确定度分量的估计值以及合成不确定度。

表4 不确定度估计

Table 4 Estimation uncertainty

统计	不确定度分量/%					合成不确定度/%
	外推	死时间	分辨时间	称重	γ 本底	
0.1	0.4	0.02	0.01	0.1	0.03	0.42

参 考 文 献

- 1 Berg AP. The Efficiency Extrapolation Method in Coincidence Counting. Nucl Instrum Methods, 1973, 112: 143.
- 2 喻以光. 应用符合吸收法测量 β - γ , X- γ 及纯 β 核素的放射性强度. 见:放射性核素强度的绝对测量. 北京:原子能出版社, 1981, 18.

ABSOLUTE MEASUREMENT METHOD FOR ELECTRON CAPTURE NUCLIDE ⁵⁷Co

YU YIGUANG YAO YANLING

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

ABSTRACT

An efficiency extrapolation method was used to measure the activity of ⁵⁷Co by the 4πβ (PPC)-γ coincidence system, and the effects of pressure and voltage on the measurement were described in detail. The method also can be used to measure the activity of the some of nuclids with similar decay. The total uncertainty is estimated to be about 0.4%.

Key words 4πβ pressure proportional counter Electron capture nuclide Efficiency extrapolation

www.cnki.net