

用 $4\pi X(\text{PPC})-\gamma$ 符合方法 测量 ^{75}Se 核素溶液活度

李 荼 周宝国

(中国计量科学研究院电离辐射处, 北京, 100013)

用 $4\pi X(\text{PPC})-\gamma$ 符合方法测量来自国际计量局(BIPM)的 ^{75}Se 放射性溶液, 测得的活度是 $(1.258 \pm 0.022)\text{MBq/g}$ (参考时间为 1992 年 6 月 1 日), 与参加比对的 19 个实验室的 23 个结果的加权平均值 $(1.253 \pm 0.003)\text{MBq/g}$ 偏离 0.4%, 在误差范围内相一致。由衰变谱计算得到 ^{75}As 的亚稳态内转换电子影响的修正系数 $K_{\alpha} = 1.0749 \pm 0.0150$ 。

关键词 ^{75}Se 放射性核素 符合方法 活度测量

1 ^{75}Se 衰变谱

^{75}Se 衰变谱^[1]见图 1。 ^{75}Se 是纯 EC 衰变核素, 有一个寿命为 17ms 的亚稳态, 发射能量为 24.33keV 的 γ 射线, 其强度为 0.074(每次衰变), 总内转换系数 $\alpha_1 = 211 \pm 7$ 。

2 用 $4\pi X(\text{PPC})-\gamma$ 符合法测量 ^{75}Se 核素溶液时活度计算公式

由于 ^{75}As 有较长的亚稳态, 符合测量时, X 道计数包括了亚稳态 24.33keV γ 射线的内转换电子的贡献, 内转换电子能量 13.5keV(绝对强度 0.058)、22.8keV(绝对强度 0.013)和 24.18keV(绝对强度 0.0025), 同时在 γ 道(NaI 探测器)各种能量的 γ 射线峰不能明显区分, 这些都给符合测量带来许多不便之处。

按照符合原理三个道计数可写成:

$$N_x = N_0 \sum P_i [\epsilon_{xi} + (1 - \epsilon_{xi})(\epsilon_{xyi} + \alpha_i \epsilon_{cei}) / (1 + \alpha_i)] \quad (1)$$

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

$$N_c = N_0 \sum P_i \epsilon_{yi} \epsilon_{xi} / (1 + \alpha_i) \quad (3)$$

N_x 、 N_y 、 N_c 分别表示 X 道、 γ 道和符合道经本底、死时间和偶然符合修正后的计数率。为了突出亚稳态内转换电子对 X 道计数的贡献, 将 X 道计数 N_x 写成:

$$N_x = N_0 \epsilon_x [1 + (1 - \epsilon_x) \epsilon_{xy} / \epsilon_x + \epsilon_{de} I_{de} / \epsilon_x] \quad (4)$$

式中, ϵ_x 表示 X 计数管对电子俘获事件的探测效率;

ϵ_{xy} 表示 X 计数管对 γ 跃迁事件的平均探测效率;

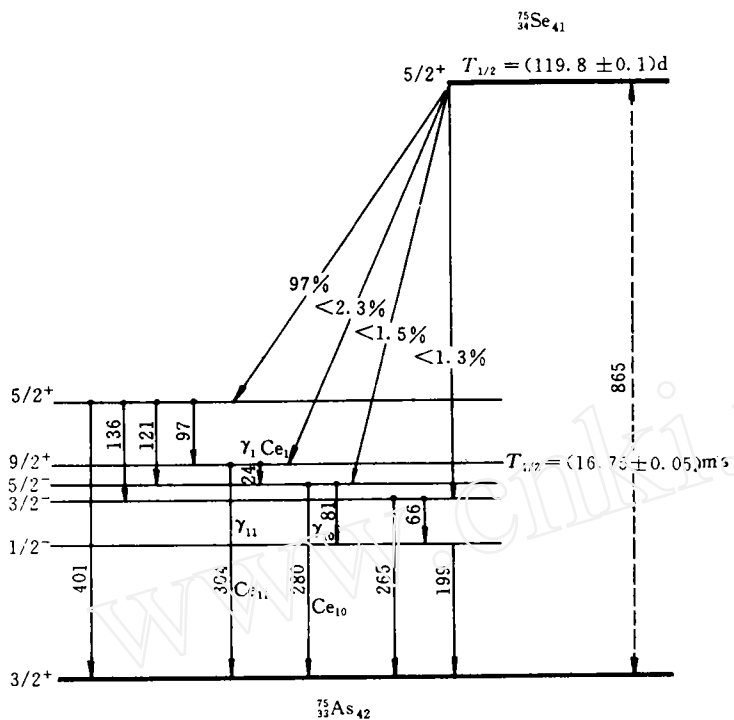


图 1 ⁷⁵Se 衰变谱

Fig 1 Simplified decay scheme of ⁷⁵Se

ϵ_{de} 表示 X 计数管对亚稳态延迟跃迁事件的探测效率;

I_{de} 表示亚稳态延迟每次衰变的强度(用百分数表示)

$$I_{de} = I_1 \alpha_1 \epsilon_{ce1} / (1 + \alpha_1) + (1 - \epsilon_{ce1}) [r_{10} (\epsilon_{x\gamma 10} + \epsilon_{ce10} \alpha_{10} / (1 + \alpha_{10})) + I_{11} (\epsilon_{x\gamma 11} + \epsilon_{ce11} \alpha_{11} / (1 + \alpha_{11}))] \quad (5)$$

式(5)中 I_i 表示第 i 条 γ 跃迁每次衰变强度(用百分数表示), α_i 和 ϵ_{cei} 分别表示第 i 条 γ 跃迁的内转换系数及 X 计数管对内转换电子的探测效率。

当 $\epsilon_x \rightarrow 1, \epsilon_{ce1} \rightarrow 1$ 时,

$$I_{de} = I_1 \alpha_1 / (1 + \alpha_1) + I_{11} (\epsilon_{x\gamma 11} + \alpha_{11}) / (1 + \alpha_{11}) \quad (6)$$

$$(N_x N_\gamma / N_c) \rightarrow (N_x N_\gamma / N_c)_\# = N_0 (1 + I_{de}) = N_0 K_{de}$$

则 $活度 N_0 = (N_x N_\gamma / N_c)_\# / K_{de} \quad (7)$

$(N_x N_\gamma / N_c)_\#$ 是 $(N_x N_\gamma / N_c)$ 与 $(1 - \epsilon_x) / \epsilon_x$ 效率曲线的外推值。

由衰变谱得知, $\alpha_1 = 211 \pm 7, \alpha_{11} = 0.055, I_1 = (7.4 \pm 1.5)\%, I_{11} = (1.41 \pm 0.02)\%, \epsilon_{x\gamma 11} = 4\%$ (根据测量⁵¹Cr 的 320keV γ 射线而得), $K_{de} = 1.0749 \pm 0.0150$ 。

3 实验测量

测量用 4πX(PPC)-γ 符合基准装置完成。

4πX(PPC)计数管材料是黄铜, 管内壁镀铬, 呈长圆柱形(两个), 有效长度 70mm, 用直径

0.025mm的镀金钨丝做阳极。

进行了计数管工作气压的选择实验,测得计数管气压坪曲线如图2所示。当计数管工作气压高于0.7MPa时,有一气压坪,坪斜每0.1MPa为0.27%,工作气压选在0.8—0.9MPa。

两个NaI(Tl)探测器($\phi 75 \times 75$ mm)对 ^{137}Cs 的662keV γ 射线能量分辨率为12%(半宽度80keV)。图3是用NaI(Tl)探测器测量的 ^{75}Se γ 射线谱,计数时 γ 窗分两种情况设置:窗1主要选择能量136keV和121keV γ 射线;窗2选择能量264keV和279keV γ 射线。为了观测264keV和136keV以及121keV和

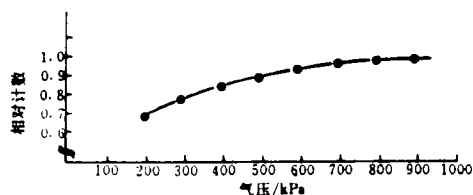


图2 4 π X(PPC)计数管工作气压坪曲线

Fig.2 Working gas pressure plateau curve for 4 π X(PPC) counter

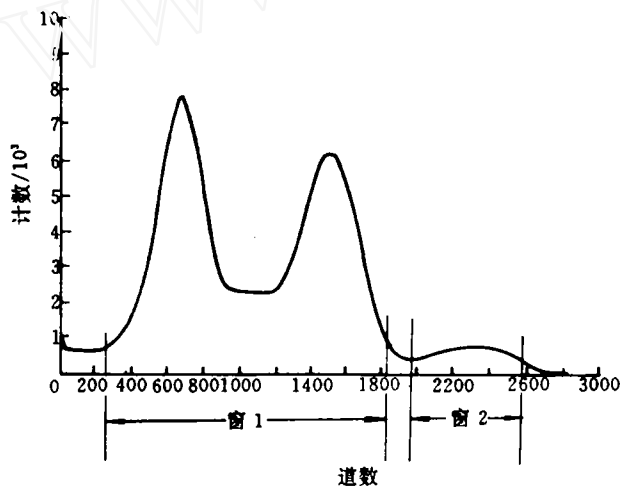


图3 NaI(Tl)探测器测量的 ^{75}Se γ 射线谱

Fig.3 ^{75}Se γ -ray spectrum with NaI(Tl) detector

279keV相加峰影响,在窗2计数时,用一个或两个 γ 探测器,观测结果看不出相加峰的影响。

X道死时间 $4.96\mu\text{s}$,本底计数15.3/s,典型计数8000/s,每次测量时间900s,甄别阈1keV。 γ 道本底18.8/s(窗1)和58.4/s(窗2),典型计数2500/s(窗1)和250/s(窗2),甄别阈(47—300)keV(窗1)和(340—452)keV(窗2)。通过改变X道的甄别阈变化X道的探测效率(1—10keV),实现最大探测效率53%。

测量用效率外推法分两组进行。第一组在窗1条件下,对16个样品进行20次测量;第二组在窗2条件下,对上面16个样品中的12个样品进行了15次测量。数据用最小二乘法拟合。

4 结果及总不确定度

对上述两组结果加权平均,得到结果是 $(1.258 \pm 0.022)\text{MBq/g}$,参考时间 1992 年 6 月 1 日。

测量结果列在表 1,总不确定度为 1.7%。

表 1 总不确定度合成(%)

Table 1 Combination of the total uncertainty

来源	计数统计	称重	本底	计时	不纯	效率外推	衰变参数	半衰期	偶然符合	304keV影响	合成不确定度	总不确定度
误差/%	0.1	<0.1	0.10	<0.001	<0.01	0.060	1.50	0.08	1.10	0.10	0.56	1.70

共有 19 个国家实验室参加该核素测量的国际比对^[2],提供的 23 个结果的加权平均值是 $(1.253 \pm 0.003)\text{MBq/g}$,我们的结果与它偏离 0.4%,在误差范围内相一致。

杨元第同志为本工作制作了测量样品,在此表示感谢。

参考文献

- 1 Langcoutine F, Coursol N, Legrand J. Table des Radionuclides (CEA-LMRI, B. P. 21, F-91190 Gif-sur-Yvette).
- 2 Ratel G. Activity Measurement of a ^{75}Se Solution in the Frame of an International Comparison (June 1992) - Preliminary Report, CCEMRI (II)/93 - 14.

ACTIVITY MEASUREMENT OF ^{75}Se RADIONUCLIDE SOLUTION WITH $4\pi X(\text{PPC})-\gamma$ COINCIDENCE METHOD

LI FEN ZHOU BAOGUO

(Ionizing Radiation Division, National Institute of Metrology, Beijing, 100013)

ABSTRACT

The activity of ^{75}Se radionuclide solution which is supplied by BIPM is measured with $4\pi X(\text{PPC})-\gamma$ coincidence. The final result obtained is $(1.258 \pm 0.002)\text{MBq/g}$ (reference time 1992-06-01), The difference between the result and the weighted average is 0.4%, the weighted average of 23 results provided by 19 participant laboratories is $(1.253 \pm 0.003)\text{MBq/g}$ and the two values are coincident within the given error limits, K_{dc} the correction, is 1.0749 ± 0.0150 which is a result of the effect of conversion electrons of $^{75}\text{As}^m$ metastable state.

Key words ^{75}Se radionuclide Coincidence method Activity measurement