

电子俘获核素 ^{65}Zn 的绝对测量方法

喻以光

(中国原子能科学研究院计量测试部, 北京, 102413)

讨论了在 $4\pi\beta(\text{ppc})-\gamma$ 符合装置上测定电子俘获并伴有跃迁到基态的正电子分支的核素 ^{65}Zn 的几种测量方法, 以及这些方法所需的修正和可能的误差来源。对各种方法的优缺点进行了评价和实验验证。测得的衰变率在0.3%内一致。

关键词 $4\pi\beta(\text{ppc})-\gamma$ 符合法 高气压正比计数器 气压坪曲线 ^{65}Zn 电子俘获

1 原理

^{65}Zn 是一个衰变纲图比较复杂的核素, 其中98.5%的核通过电子俘获跃迁, 1.46%为正电子衰变。在电子俘获跃迁中, 50.75%跃迁到 ^{65}Cu 的1115.53 keV激发态, 47.75%跃迁到基态。正电子衰变的最大能量为330 keV, 不伴随射线。

衰变率的计算公式如下。

定义 A 、 B 、 C 分别表示经过本底修正、死时间修正和偶然符合修正后的高气压正比计数器 $4\pi\beta(\text{ppc})$ 、 γ 闪烁计数器及符合计数器三道的计数率; ϵ_x 是包括分支比在内的高气压正比计数器对电子俘获事件的探测效率; ϵ_γ 是包括分支比在内的闪烁计数器对 γ 射线的探测效率; ϵ_{β^+} 是高气压正比计数器对 β^+ 事件的效率(包括分支比在内); $(\epsilon_x)_\gamma$ 是高气压正比计数器对 γ 射线的探测效率(包括分支比); $(\epsilon_\gamma)_{\beta^+}$ 是 γ 道对 β^+ 淹没辐射的效率; ϵ_c 是高气压正比计数器探测到除电子俘获以外的事件引起的符合计数的几率。则:

$$A = N_0[\epsilon_x + \epsilon_{\beta^+} + (1 - \epsilon_x)(\epsilon_x)_\gamma] \quad (1)$$

$$B = N_0[\epsilon_\gamma + (\epsilon_\gamma)_{\beta^+}] \quad (2)$$

$$C = N_0[\epsilon_x\epsilon_\gamma + (1 - \epsilon_x)\epsilon_c] \quad (3)$$

其中 N_0 为源的衰变率。合并式(1—3), 得

$$(A \times B)/C = N_0 F \quad (4)$$

$$F = \frac{[\epsilon_x + \epsilon_{\beta^+} + (1 - \epsilon_x)(\epsilon_x)_\gamma] \cdot [\epsilon_\gamma + (\epsilon_\gamma)_{\beta^+}]}{\epsilon_x\epsilon_\gamma + (1 - \epsilon_x)\epsilon_c} \quad (5)$$

2 测量方法

根据测量条件的不同, 测量方法可分为积分测量、微分测量和效率外推法。

收稿日期: 1993-10-27 收到修改稿日期: 1993-12-01

2.1 积分测量

高压正比计数器工作在气压坪区和电压坪区, γ 道选在 1115.53 keV 光电峰处。在此条件下, 在高压正比计数器中发生散射的 γ 射线和 β^+ 湮灭辐射均不会引起计数。 $\epsilon_c = 0$, $(\epsilon_\gamma)_{\beta^+} = 0$ 。公式(5)化简为

$$F = 1 + \epsilon_{\beta^+}/\epsilon_x + (\epsilon_x)_\gamma \cdot (1 - (\epsilon_x)/\epsilon_x) \quad (6)$$

式(6)中共有三个需要测定的数, 即 ϵ_x , ϵ_{β^+} 和 $(\epsilon_x)_\gamma$ 。 ϵ_x 和 ϵ_{β^+} 密切依赖高压正比计数器的工作条件、源的制备情况、X 射线的能量和 β^+ 的能量等因素。在此测量条件下, ϵ_x 的平均值为 0.452, ϵ_{β^+} 为 0.95, $(\epsilon_x)_\gamma$ 为 3×10^{-3} 。分支比 $P_{Ec} = 0.985$, $P_{\beta^+} = 0.0146$, $P_\gamma = 0.5075$ 。将以上各项一并代入式(6), 得

$$F = 1.033 \quad (8)$$

积分测量存在的误差: 由于 ϵ_{β^+} , $(\epsilon_x)_\gamma$ 存在估计误差, 直接影响到修正因子 F 的准确度。通常, ϵ_{β^+} 变化范围不超过 0.9 到 0.98 之间, 而 $(\epsilon_x)_\gamma$ 值不超过 0 到 5×10^{-3} 。取其最大值和最小值进行计算, 则有 $F_{\max} = 1.0351$, $F_{\min} = 1.0295$ 。即修正函数 F 的最大误差范围为 $\pm 0.34\%$ 。

2.2 微分测量

在修正因子 F 中, 最不易确定的项是 ϵ_{β^+} 和 $(\epsilon_x)_\gamma$ 。如果能将这两项的贡献减小到可以忽略不计的程度, 则可以减小修正函数 F 引入的误差。在 $4\pi\beta(\text{ppc})-\gamma$ 符合装置上, 这样做是可以实现的。

具体做法是, 将高压正比计数器的工作点降低, 用多道分析器测出高压正比计数器输出的脉冲谱(见图 1)。由图上可以看出, 在 450 道以下, 主要是 E_c 事件的贡献。在 450 道以上, 主要是 β^+ 及 γ 射线产生的比较平坦的分布。

将单道分析器阈值调到 200—300 道之间的区域, 如图中箭头所示, 并取较窄的窗宽进行微分计数, 例如 1V。在此窗宽范围内, β^+ 及 γ 射线引起的计数很少, 可以忽略不计。修正因子 $F = 1$ 。

微分测量引入的误差主要在阈和窗的选择能否获得最佳的 ϵ_{β^+} 或 $(\epsilon_x)_\gamma$ 与 ϵ_x 之比。其中又以 $\epsilon_{\beta^+}/\epsilon_x$ 为主。在上述具体测量条件下, $\epsilon_{\beta^+}/\epsilon_x < 0.05$ 。修正因子 F 的误差为 0.07%。

2.3 效率外推法

式(6)中第二和第三两项都与 ϵ_x 有关。当 $\epsilon_x = 1$ 时, ϵ_{β^+} 也等于 1。则

$$F = (1 + P_{\beta^+}/P_{Ec}) = 1.01482 \quad (8)$$

如果核参数误差为 $\pm 10\%$, P_{β^+} 和 P_{Ec} 取不同的误差方向(一正一负), 则 F 的最大误差为 0.3%。

3 结果与讨论

3.1 积分测量

工作电压分别选在 5.2 和 5.4 kV, 主放大器增益分别选在 200 和 500 倍。测得数据没有

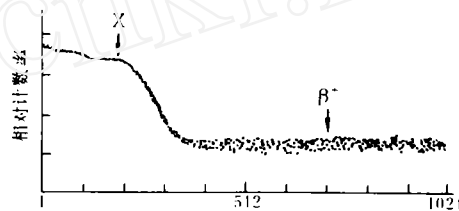


图 1 ^{65}Zn X 射线谱

Fig.1 X ray spectrum for ^{65}Zn

明显差别。衰变率为: $N_0 = 307.86(1 \pm 0.46\%) \text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$ 。

3.2 微分测量

测量条件如前所述,工作电压 4.40 kV,主放大器增益 200,阈 4.5V,窗宽 1V。得: $N_0 = 309.47(1 \pm 0.6\%) \text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$ 。

3.3 效率外推测量

与微分测量条件相同。甄别阈变化范围 0.5—10V。经最小二乘多项式拟合,得效率函数

$$Y = 1 + 0.0137X \quad (9)$$

$$N_0 = 308.00(1 \pm 0.36\%) \text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$$

将三种方法测量得的衰变率列于表 1 中,以便比较。

表 1 用三种方法测衰变率的比较
Table 1 Comparison of measured results for three methods

方法	$N_0/\text{Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$	$\sigma/\%$	与平均值差/%
积分	307.86	0.46	-0.19
微分	309.47	0.60	+0.33
外推	308.00	0.36	-0.14
平均	308.44		

表 1 最右一行列出的各方法测量值与平均值之差,都处于各方法的误差范围之内。可以说,在此 0.3% 的误差范围内,这三种方法都能给出可靠的衰变率。

积分法的优点是 A、B 和 C 三道计数率较高,在短时间内可得到较好的统计精度,而且测量条件选择也比较简单,但需测量和估计几个参数。目前的情况下,参数误差对衰变的误差贡献可能达到 0.3%。

微分法引入的误差较小,估计在 0.1% 以下,但计数率偏低,大约比积分法低一个量级。因此,要获得同样统计精度需要的时间比积分法长得多。

效率外推法,理论上不致引起系统误差,但外推测量是一件既费时又费力的工作。

参 考 文 献

- 1 Legrand J, Blondel M, Magnier P. High-pressure Proportional Counter for Internal Conversion Electron Measurements, Nucl Instrum Methods, 1973, 112:101.
- 2 Raerg AP. The Efficiency Extrapolation Method in Coincidence Counting. Nucl Instrum Methods, 1973, 112:143.

ABSOLUTE MEASURING METHOD ABOUT ELECTRON CAPTURE NUCLEAR ^{65}Zn

YU YIGUANG

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

ABSTRACT

Some methods of the measurement as $4\pi\beta(\text{ppc})-\gamma$ coincidence system for ^{65}Zn , which is a electron capture nuclide with positron branch that transmits to ground, the required corrections and possible sources of errors are described. The advantages and disadvantages of each method are evaluated and proved by experiment, and the decay rate measured by each method is consistent within 0.3%.

Key words $4\pi\beta(\text{ppc})-\gamma$ coincidence pressurized proportional counter ^{65}Zn Electron capture Pressure plateau curve