

研究简报

放射性绝对测量和半衰期 (II)

介绍一个非经典的获取衰变常数
或半衰期的方法

冯锡璋 赵珍兰 徐元彪 郭应焕

罗世华 黄忠祥 杨瑞英 江泳

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文介绍了一个非经典的获取放射性核素 ^{99m}Tc 的衰变常数及半衰期的方法并与经典的最小二乘法分析结果进行比较。非经典法的结果是 $T_{1/2} = 6.006 \pm 0.004$ 小时, 经典法的结果是 $T_{1/2} = 6.009 \pm 0.005$ 小时。

1. 从图 2^[1] 中得到启发, 在分析某一放射性同位素的一组 n 个衰变实验数据以获取其最可几衰变常数 λ_i (或相应的半衰期 $= \ln 2 / \lambda_i$) 中, 选择若干个衰变常数值 λ_i ($i = 1, 2, \dots, s, \dots$), 计算并作图以得出一组 kN_{0i} 对 t_c 曲线, ($t_c - t_0$) (设 $t_0 = 0$) 由小通过该同位素的最可几寿命 $\tau_i = 1/\lambda_i$ 到大 (如图 2^[1] 所示)。若所选 λ_i 由小通过 λ_i 到大则曲线形状由先高后低通过与 t_c 轴平行 (在 λ_i 附近) 而过渡到先低后高, 这是一个总的趋势。并且在实验中, 应在 τ_i 附近多选一些点。

2. 但由于统计涨落, 测量条件的细微变化和探测器的不稳定性等, 一般 kN_{0i} 值在一系列光滑曲线附近上下波动, 因此, 只靠观察曲线变化还不能很好地得到 λ_i 。

3. 为了较好地得到 λ_i 及其误差, 采用以下方法: 首先在一些近乎平行于 t_c 轴的曲线中, 选择一个衰变常数最可几值的一次近似值 $\lambda_i(1)$ 及其相应的寿命 $\tau_i(1) = (\lambda_i(1))^{-1}$ 。然后, 对 λ_i 值与 $\lambda_i(1)$ 很相近的一系列曲线进行如下处理。在 $t_c = \tau_i(1)$ 前后对称地取若干点, 总的时间间隔可约为 $2\tau_i(1)$, 即前后各 $\tau_i(1)$, 并对这些点的 kN_{0i} 值取平均值, 作为其最可几值的一次近似 $kN_{0i}^{(1)}$, 这是为了尽量减少统计涨落, 测量条件的细微变化和探测器的不稳定性等的影响。将各测量点的 kN_{0i} 分别减去 $kN_{0i}^{(1)}$ 得 Δ_i^c , 它们一般可正可负。将 Δ_i^c 分为两或三组, 以 $t_c < \tau_i(1)$ 为前组 Δ_i^{c-} , $t_c > \tau_i(1)$ 为后组 Δ_i^{c+} , $t_c = \tau_i(1)$ 为中组 $\Delta_i^{c(1)}$, 前中组平均值为

$$\left(\sum_{c=1}^{l_1} \Delta_i^{c-} + \frac{1}{2} \Delta_i^{c(1)} \right) / \left(l_1 + \frac{1}{2} \right) = \bar{\Delta}_i^c,$$

中后组平均值为

$$\left(\sum_{c=1}^{l_2} \Delta_i^{fc} + \frac{1}{2} \Delta_i^{f(1)} \right) / \left(l_2 + \frac{1}{2} \right) = \bar{\Delta}_i^f,$$

这里 l_1 和 l_2 分别为前组和后组的测量点数, 一般 $l_1 = l_2$.

4. 观察随着 λ_i , $\bar{\Delta}_i^f$ 和 $\bar{\Delta}_i^g$ 的变化. 一般当 $\lambda_i < \lambda_r$ 时, $\bar{\Delta}_i^f$ 为正, $\bar{\Delta}_i^g$ 为负; $\lambda_i > \lambda_r$ 时, 则 $\bar{\Delta}_i^f$ 为负, $\bar{\Delta}_i^g$ 为正. 随着 λ_i 的愈来愈接近于 λ_r , $|\bar{\Delta}_i^f|$ 和 $|\bar{\Delta}_i^g|$ 均愈来愈小, 而当 λ_i 为 λ_r 时, 它们都接近于零.

5. 这样的鉴别是明显而灵敏的, 因此所得的 λ_r 是可靠的.

6. 若放射性同位素样品很纯, 当 λ_i 很接近于或等于 λ_r 时, Δ_i^f 的或正或负表现了放射性测量的统计涨落, 测量条件的细微变化和探测器的不稳定性等. 对每组 Δ_i^f 值分别进行多次测量标准偏差计算得 σ_{n-1}/\sqrt{n} 值, 将它与 $|\bar{\Delta}_i^f|$ 和 $|\bar{\Delta}_i^g|$ 的平均值 $\bar{\Delta}_i$ 进行比较, 选择两个衰变常数 λ_l 和 λ_u , $\lambda_l < \lambda_r < \lambda_u$, 使 $\bar{\Delta}_l \cong \sigma_{n-1}/\sqrt{n} \cong \bar{\Delta}_u$, 则 λ_r 的误差为

$$(\lambda_l - \lambda_r) \text{ 和 } (\lambda_u - \lambda_r).$$

(前者为负后者为正), 这是一种比较谨慎的处理.

7. 关于 ^{99m}Tc 的实验结果^[1].

对表 2 中^[1] 一系列的 kN_{0i}^f , $\bar{\Delta}_i^f$ 和 $\bar{\Delta}_i^g$ 及 σ_{n-1}/\sqrt{n} 值进行分析, 发现当 $T_{1/2} = 6.006$ 小时, $kN_{0i}^{f(1)} = 533846$ 微微库仑, $\bar{\Delta}_i^f = -17$ 微微库仑, $\bar{\Delta}_i^g = 17$ 微微库仑, $\sigma_{n-1}/\sqrt{n} = 133$ 微微库仑. 当 $T_{1/2} = 6.007$ 小时, $kN_{0i}^{f(1)} = 533846$ 微微库仑, $\bar{\Delta}_i^f = 20$ 微微库仑, $\bar{\Delta}_i^g = -20$ 微微库仑, $\sigma_{n-1}/\sqrt{n} = 131$ 微微库仑. 通过对 $\bar{\Delta}_i^f$ 和 $\bar{\Delta}_i^g$ 值的内插, 得到 ^{99m}Tc 的半衰期最可几值为 6.00647 小时, 并根据第 6 节中定误差的原则, 得到其半衰期为 $T_{1/2} = 6.006 \pm 0.004$ 小时, 它与经典的最小二乘法处理所得的 6.009 ± 0.005 小时相当一致. 虽然如此, 但非经典法较之经典的最小二乘法有深一层的物理含义. 二者之间的细微差别仍将是今后细致研究的课题.

参 考 文 献

[1] 冯锡璋等, 高能物理与核物理, 6(1981).

MEASUREMENTS OF NUMBER OF RADIOACTIVE ATOMS AND HALF-LIFE (II)

FENG XI-ZHANG ZHAO ZHEN-LAN XU YUAN-BIAO GUO YING-HUAN
LO SHI-HUA HUANG ZHONG-XIANG YANG RUI-YING JIANG YONG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

In present paper, a non-classical method of obtaining the decay constant and half-life of ^{99m}Tc was introduced. The results were compared with that obtained by the classical method of the least square analysis. The half-life by non-classical method is 6.006 ± 0.004 hours, that by classical method is 6.009 ± 0.005 hours.