

# 放射性绝对测量中测量时刻的选择

冯锡璋 赵珍兰

汤乃勋

(中国科学院高能物理研究所) (冶金工业部有色金属研究院)

## 摘 要

本文指出在测量一个样品中某种放射性同位素在  $t_0$  时刻下的原子数目时, 只需精心选择测量其放射性的时刻于  $t_0$  后约该同位素的一个寿期 ( $1/\lambda$ ) 进行一次或多次测量并计算, 则由它的衰变常数 ( $\lambda$ ) 的不准确性而引进的误差可以降低到较小值。

在核化学研究中, 经常需要通过放射性的绝对测量, 准确地测定在某一起始时刻  $t_0$  下 (即照射结束), 在样品中某一放射性同位素的原子数目  $N_0$ 。但可观的误差可由那个同位素的放射性衰变常数的不准确性而引进, 特别是当衰变常数比  $4 \times 10^{-7}$ /秒小许多或寿期比  $2.5 \times 10^6$  秒长许多时更是如此。然而, 对于绝对测量, 通过精心选择测量时刻  $t_c$ , 则那个误差能减到可忽略的程度。

设衰变常数的真值是  $\lambda$ , 它的实验测量值是  $\lambda + \Delta\lambda$ ,  $\Delta\lambda$  是它的实验误差 (包括系统的和非系统的, 或是正或是负), 则在  $t_c$  时刻的放射性应该是  $\lambda N_c$ 。此处  $N_c$  是在  $t_c$  时刻的原子数目

$$N_c = N_0 \exp[-\lambda(t_c - t_0)]. \quad (1)$$

如果我们采用实验上测量的放射性  $\lambda N_c$  和  $(\lambda + \Delta\lambda)$  来计算在  $t_0$  时刻的原子数目, 则计算值为

$$N'_0 = \lambda N_c \exp[(\lambda + \Delta\lambda)(t_c - t_0)] / (\lambda + \Delta\lambda) = \frac{\lambda N_0}{\lambda + \Delta\lambda} \exp[\Delta\lambda(t_c - t_0)]; \quad (2)$$

由衰变常数的不准确性所引起的相对误差为

$$D = \frac{N'_0 - N_0}{N_0} = \frac{\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \exp[\Delta\lambda(t_c - t_0)] - 1; \quad (3)$$

如果我们相对于  $t_c$  时刻, 对  $D^2$  求极小值, 则我们得到

$$D = 0. \quad (4)$$

如果  $\Delta\lambda \ll \lambda$  和解方程 (4), 我们得到  $t_c - t_0$  近似等于  $(\lambda + \Delta\lambda)^{-1}$ , 把  $t_c - t_0 = (\lambda + \Delta\lambda)^{-1}$  代入 (3) 中, 则

$$D = - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{n-1}{n!} \left( \frac{\Delta\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \right)^n \cong - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \right)^2 - \frac{1}{3} \left( \frac{\Delta\lambda}{\lambda + \Delta\lambda} \right)^3.$$

在表1中,  $D, X = \frac{\Delta\lambda}{\lambda + \Delta\lambda}$  和  $T = (\lambda + \Delta\lambda)(t_c - t_0)$  的对应值被列出, 这里

$$D = (1 - X)\exp(XT) - 1. \quad (5)$$

由以上结果得出如下结论: 通过对放射性绝对测量时刻的选择, 即选择在  $t_0$  时刻后, 经过待测放射性同位素的约一个寿期的时间间隔, 作放射性的绝对测量, 则由衰变常数的不准确性所引进的  $N_0$  的相对误差能够减少到小于 0.1%, 即使衰变常数的实验误差达

表1  $D, X$  和  $T$  之间的关系

$T \backslash D \backslash X$	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
0.00	-0.010000	-0.020000	-0.030000	-0.040000	-0.050000
0.10	-0.009009	-0.018038	-0.027086	-0.036152	-0.045238
0.50	-0.005038	-0.010151	-0.015340	-0.020607	-0.025951
0.90	-0.001050	-0.002200	-0.003453	-0.004810	-0.006273
0.95	-0.000550	-0.001202	-0.001957	-0.002818	-0.003786
0.97	-0.000350	-0.000803	-0.001358	-0.002019	-0.002789
0.98	-0.000250	-0.000603	-0.001059	-0.001621	-0.002291
0.99	-0.000150	-0.000403	-0.000759	-0.001221	-0.001792
1.00	-0.000050	-0.000203	-0.000459	-0.000822	-0.001292
1.01	0.000049	-0.000003	-0.000159	-0.000422	-0.000793
1.02	0.000149	0.000197	0.000141	-0.000022	-0.000293
1.03	0.000249	0.000397	0.000441	0.000378	0.000207
1.05	0.000449	0.000797	0.001041	0.001178	0.001207
1.10	0.000949	0.001799	0.002544	0.003183	0.003713
1.20	0.001952	0.003805	0.005556	0.007204	0.008745
1.50	0.004962	0.009846	0.014647	0.019363	0.023990
2.00	0.009999	0.019994	0.029981	0.039956	0.049912
5.00	0.040759	0.083067	0.126979	0.172547	0.219824

  

$T \backslash D \backslash X$	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05
0.00	0.009999	0.020000	0.030000	0.040000	0.050000
0.10	0.008990	0.017962	0.026915	0.035848	0.044763
0.50	0.004963	0.009851	0.014665	0.019406	0.024075
0.90	0.000951	0.001804	0.002562	0.003226	0.003797
0.95	0.000450	0.000803	0.001059	0.001221	0.001291
0.99	0.000050	0.000003	-0.000141	-0.000379	-0.000710
1.00	-0.000049	-0.000197	-0.000441	-0.000779	-0.001209
1.01	-0.000150	-0.000397	-0.000741	-0.001179	-0.001709
1.02	-0.000250	-0.000597	-0.001041	-0.001578	-0.002208
1.05	-0.000550	-0.001197	-0.001940	-0.002775	-0.003703
1.10	-0.001049	-0.002195	-0.003435	-0.004768	-0.006191
1.50	-0.005037	-0.010146	-0.015322	-0.020565	-0.025869
2.00	-0.009999	-0.019995	-0.029983	-0.039959	-0.049921
5.00	-0.039259	-0.077066	-0.113471	-0.148520	-0.182259

$\pm 4\%$  这么高时, 也是如此. (包括系统的和非系统的, 或是正, 或是负). 对于寿期在 30 天到 2 年之间的放射性同位素 (甚至到 6 年), 上面的要求是不难满足的. 对于更长寿命的核素, 例如  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{90}\text{Sr}$ , 选择  $(t_c - t_0)$  值尽可能接近他们的寿期是有利的.

## SELECTION OF THE MEASURING TIME IN THE ABSOLUTE COUNTING OF RADIOACTIVITY

FENG XI-ZHANG ZHAO ZHEN-LAN

*(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)*

TANG NAI-XUN

*(General Research Institute for Non-Ferrous Metal, The Ministry of Metallurgical Industry)*

### ABSTRACT

The present paper pointed out that in the measurement of the number of atoms of a radioactive isotope in a sample at time  $t_0$ , the error introduced through the inaccuracy of its decay constant ( $\lambda$ ) can be reduced to a much smaller value by the careful selection of the time of measurement or measurements of its radioactivity at around one life time ( $1/\lambda$ ) after  $t_0$  and doing the calculation.