

2π 栅网电离室用于²⁴¹Am溶液衰变率的绝对测量

金行星 李耀辉 孙国华

(西南核物理与化学研究所)

关键词 ²⁴¹Am 衰变率, 反散射系数, 玻璃底衬源。

2π 栅网电离室法用于衰变率绝对测量早有文献报道^[1], 它具有探测效率高、能量分辨率高、本底低、操作方便等优点。但作为衰变率绝对测量需进行源的自吸收与源底衬反散射校正。具有一定厚度的平板α源, 通常采用熟知的校正因子 $t/2R$ ^[2] (t 为源的厚度、 R 为α粒子在源中射程) 来进行自吸收修正。对含微量物质 ($t \leq 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) 的α源, 由于源底衬材料表面擦痕, 制源时留下的残渣和结晶形成晶体的大小及不均匀分布等都可能造成可观的自吸收, 致使α计数有损失。在本工作中, 我们用表面平整的玻璃片作底衬, 并用甘露醇作源扩散剂与浸润剂, 在高温下除去有机残渣, 从而制得薄而均匀的α定量源。最后, 用线性外推零能量, 消除了自吸收影响。

Crawford^[3]已在理论上计算了由于小角多次散射产生的反散射影响, 并且为Deruytter等人^[4,5]在实验中证实。他们研究了α粒子反散射与底衬材料原子序数的线性关系。近期来, 我们利用喷硅胶底衬的²⁴¹Amα薄膜源, 用不同材料作底衬, 研究了反散射现象, 取得了同样的结果。经过自吸收与反散射校正, 电离室法测得²⁴¹Am的衰变率与α-τ符合法、液体闪烁法相比在±0.3%内符合。

一、实 验 装 置

测量装置是2π栅网电离室。它是在两极平板电离室基础上, 在源电极和收集极之间加一屏蔽栅极, 以屏蔽正离子影响。源电极、栅极、收集极所加电压分别是-2500、-1250、0V, 工作气体为95%氩气加5%甲烷。电离室内具有六个源位的换源装置, 可在不改变电场和同一充气条件下连续测量六个样品。电离室系统的方块图如图1。

该谱仪电子学均采用国产NIM插件, 多道分析器为LABEN-8000, 能量分辨率为32 keV (对于5.3 MeV²¹⁰Poα粒子), 系统死时间采用双源法测得为6 μs, 本底45个/h。

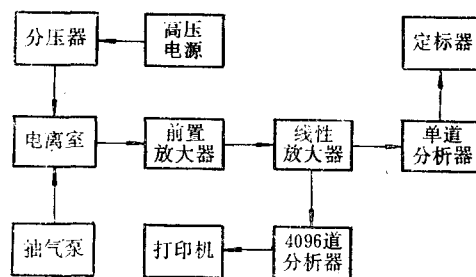


图 1 电离室谱仪方块图

二、实验结果

1. 反散射影响 2π 平板 α 源中, 射向底衬材料的 α 粒子经小角多次散射而可能进入探测器灵敏区被记录, 这样致使 α 计数增加。即:

$$N_a = N_0(1 + B), \quad (1)$$

式中 N_0 是无反散射时 α 计数; N_a 是有 α 反散射实测 α 计数; B 为反散射系数。我们的实验结果也证明 B 值与底衬材料原子序数有关。

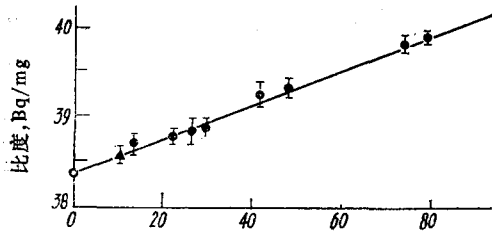


图 2 比度与底衬材料原子序数的关系
▲ 玻璃底衬; ● 金属底衬; ○ 截距 N_0 。

实验中使用的源为喷硅胶 VYNS 薄膜源, 源斑 $\phi 8$ mm, 衬底材料有玻璃、铝、钛、铁、铜、铈、银、钽、铂等 9 种, 每片约 $\phi 20 \sim 30$ mm, 厚度 $0.1 \sim 1.0$ mm。

用重量法 (十万分之一天平称量) 取 ^{241}Am 溶液, 制得一批薄膜源, 在电离室 (底衬为平板铜片) 初测源的平行性。每片底衬材料, 事先经仔细抛光至表面没有明显的伤痕。然后, 将薄膜源套上。最后, 在电离室装置上测量 α 计数, 得每个样品比度。结果列于表 1 和图 2。

表 1 ^{241}Am 源在不同底衬上的比度*

底衬材料	玻璃	铝	钛	铁	铜	铈	银	钽	铂
原子序数, Z	10**	13	22	26	29	41	47	73	78
比度, Bq/mg	38.57 ± 0.03	38.71 ± 0.08	38.84 ± 0.06	38.77 ± 0.15	38.87 ± 0.12	39.28 ± 0.12	39.32 ± 0.11	39.85 ± 0.08	39.93 ± 0.04
反散射系数 B	0.0053	0.0069	0.0116	0.0137	0.0153	0.0216	0.0248	0.0385	0.0411

* 误差为标准偏差, ** 按 Na_2SiO_3 计折合 Z 。

对实验结果作最小二乘法拟合:

$$\frac{N_a}{N_0} = 1 + B = 1 + bZ. \quad (2)$$

计算得 $N_0 = 38.36(1 \pm 0.13\%)$, $b = 5.24 \times 10^{-4}(1 \pm 5.3\%)$, 线性关联因子 $\gamma = 0.994$ 。

因此, 可以认为反散射与原子序数成线性关系。这一结果比 Crawford^[3] 的理论计算值高 6%, 和 Walker^[5] 实验结果在 1% 内符合。实验测得该种玻璃底衬反散射系数为 0.0055。

2. 自吸收影响 源的自吸收问题, 在很大程度上是个制源问题。我们采用的玻璃底衬源, 其制法简述如下: 选好一定厚度 (厚约 2 mm) 表面平整的玻璃片, 其上用憎水性 APiezon ω -苯溶液画一个 $\phi 20$ mm 圆环, 并在 250°C 温度下加热, 使其牢固地结合在玻璃片上, 这时, 可将待测溶液滴在 $\phi 20$ mm 环内, 凉干。随后加上一定量甘露醇, 凉干,

高温下蒸发和炭化。最后在 550°C 温度下灼烧，除去有机物质。这样制得的源薄而均匀，在外观上看不到痕迹，其能量分辨率接近电镀源。

本工作使用的 ^{241}Am 玻璃底衬源是将 5.486 MeV 能峰调在 3900 道附近；为校正系统死时间对计数率的损失，又将 α 能峰调在零道附近，测量二次叠加 α 能谱；依次，二次叠加能峰调在零道附近，测量三次叠加 α 能谱，测总 α 计数：

$$N_{\alpha} = N_{\alpha 1} + 2N_{\alpha 2} + 3N_{\alpha 3}, \quad (3)$$

式中 $N_{\alpha 1}$ 为第一次测量(不计叠加峰) α 计数， $N_{\alpha 2}$ 为二次叠加 α 计数， $N_{\alpha 3}$ 为三次叠加 α 计数，本实验使用 ^{241}Am 源强 $< 100\text{dps}$ ，二次叠加 α 计数占总计数约 0.2% 左右，因此公式 (3) 取前二项即可。表 2 给出 ^{241}Am 玻璃底衬源 α 能峰低能尾巴的影响。它的积分谱如图 3。

在 500 道以下 α 计数仅占总 α 计数 0.324%。300 道以下的 α 计数，由于电子学噪声、反散射等影响，积分谱已偏离直线，但这种偏离对总计数数的影响 $\leq 0.06\%$ 。按 (3) 式处理后，最后，取积分谱线性外推零能量的积分计数作为 2π 计数值。

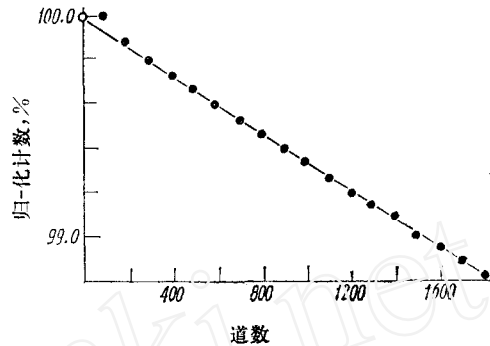


图 3 ^{241}Am 玻璃底衬源积分谱
道宽 1.40keV/道

3. 结果比较与误差分析 经上述两项校正， 2π 栅网电离室测量 ^{241}Am 溶液比度与 α - γ 符合法，液体闪烁法相比在 $\pm 0.3\%$ 内一致。表 3 给出三种测量方法的结果和准确度的比较。

表中相对标准偏差用下式计算：

表 2 ^{241}Am α 能谱低能尾巴的影响

记录道起止, 道	相应能量, keV	相应区间计数与总计数之比, %
100~200	140~281	0.06
100~500	140~703	0.324
100~1000	140~1407	0.589
100~1500	140~2110	0.889
100~2500	140~3516	1.64

表 3 ^{241}Am 溶液比度测量结果

测试方法	比度测量			准确度比较	
	电离室法	α - γ 符合法	液闪法	电离室法 α - γ 符合法	电离室法 液闪法
比度, Bq/mg	38.36	38.39	38.25	0.9992	1.0021
样品个数	6	6	5		
标准偏差 1σ	0.086%	0.076%	0.15%		
源类型	玻璃底衬源	喷硅胶薄膜源	液体源		

$$\sigma = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n(n-1)} \right)^{\frac{1}{2}} / \bar{N}, \quad (4)$$

其中 N_i 为各源的比度; \bar{N} 为比度平均值; n 为测量源的个数。计算得:

$$\sigma = 0.086\%$$

系统偏差: 包括源称量误差 $\pm 0.2\%$, 反散射校正引起偏差 $\pm 0.13\%$, 线性外推零能量的自吸收校正引起偏差 $\pm 0.10\%$, 死时间校正引起的偏差 $\pm 0.02\%$ 。则总系统偏差为:

$$\delta = \sum_{i=1}^4 \delta_i = \pm (0.20 + 0.13 + 0.10 + 0.02)\% = 0.45\%$$

总的不确定度为:

$$\eta = \pm (t\sigma + \delta) = \pm (3.57 \times 0.086 + 0.45)\% = \pm 0.76\%$$

这里的自由度为 $n-1=5$, Student 量 $t=3.57$ (95%置信度)。

由于重元素核素的 α 粒子的能量一般在 4 至 8 MeV 范围内, 电离室对 α 粒子的探测具有同样的探测效率。现使用的玻璃底衬源不受放射性溶液介质、酸度等影响。曾对 ^{233}U , ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{244}Cm 等放射性溶液 (其中 ^{233}U 为 8 M HNO_3 约 100 mg) 进行比度测量, 也取得了同样的结果。因此, 2π 栅网电离室法作为重元素 α 放射性的标准化工作是十分有用的。

样品的制备由毛欣根、程才、范大孝、张桂兰同志完成, 我们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. Maly et al., RFP-trans-49(1959).
- [2] Д. П. Осанов и др., ПТЭ, 5, 32(1958).
- [3] J. A. Crawford, Theoretical Calculations Concerning Back-Scattering of Alpha Particle, "The Transuranium Elements" (Ed. Glen T. Seaborg et al.), National Nuclear Energy Series, Manhattan Project Technical Section, Division IV-Plutonium Project Record, Vol. 14, Part II, p. 1307, McGraw-Hill, 1949.
- [4] A. J. Deruytter, Nucl. Instrum. Methods, 15, 164(1962).
- [5] D. H. Walker et al., Int. J. Appl. Radiat. Isotopes, 19, 517(1968).

(编辑部收到日期: 1982年1月3日)