

用伴随粒子法测定 Ra- α -Be 中子源的绝对产额* 1)

卢涵林 曾显忠

提 要

用 Na- γ -D₂ 电离室与 4 π -BF₃ 长中子管分别记录质子和中子,并用符合法定出 4 π -BF₃ 管的效率。通过已知效率的 4 π -BF₃ 长中子管,测定过渡源 Na-D₂O 的中子产额。在锰浴中 Na-D₂O 源与 200 毫居里 Ra- α -Be 源进行比较测量。对快中子俘获、中子逃逸、源自吸收等项进行修正后,其结果为 $Q_{\text{Ra-Be}} = 2.26 \times 10^6 (1 \pm 0.8\%)$ 中子/秒。此结果与用锰浴法^[1]测定结果在误差范围内相符。

标准中子源的建立可以简化许多测量中的绝对化问题。为检验工作的可靠性,本工作与“用锰浴法测定 200 毫居里 Ra- α -Be 中子源绝对产额”的工作^[1]相互校验。

一、测量原理

伴随粒子法是用 Na²⁴ 的 γ 与含氘气体电离室起 $D(\gamma, P)n$ 反应,记录质子及质子-中子符合来确定 4 π -BF₃ 长中子管对 Na- γ -D₂ 反应所产生的中子探测效率。用已知效率的探测器去刻度 Na-D₂O 源的绝对产额。在锰浴中将 Na-D₂O 源与待测的 Ra- α -Be 源比较测量,进行必要的修正后得 Ra- α -Be 源绝对产额。待测源强:

$$Q_{\text{Ra-Be}} = \frac{N_{\text{Ra-Be}}}{\frac{1 - \lambda_{\text{Na}}/\lambda_{\text{Mn}}}{e^{-\lambda_{\text{Na}}t} - e^{-\lambda_{\text{Mn}}t}} N_{\text{Na-D}_2\text{O}}} Q_{\text{Na-D}_2\text{O}} \frac{(1 - B_{\text{Na-D}_2\text{O}})}{(1 - P)(1 - L_{\text{Ra-Be}})(1 - B_{\text{Ra-Be}})}$$

式中: λ_{Na} , λ_{Mn} ——Na²⁴ 和 Mn⁵⁶ 衰变常数;

$N_{\text{Ra-Be}}$, $N_{\text{Na-D}_2\text{O}}$ ——锰浴比较时 Ra- α -Be 源和 Na- γ -D₂O 源在锰浴中的相对计数;

$Q_{\text{Na-D}_2\text{O}}$ ——Na- γ -D₂O 源的中子绝对产额;

P ——Ra- α -Be 源的中子在锰浴的慢化过程中通过带电粒子反应道损失的份额;

$L_{\text{Ra-Be}}$ ——Ra- α -Be 源中子对锰浴的逃逸因子;

$B_{\text{Ra-Be}}$, $B_{\text{Na-D}_2\text{O}}$ ——Ra- α -Be 源和 Na-D₂O 源及其支承物在锰浴中的自吸收因子;

t ——Na-D₂O 源在锰浴中的照射时间;

* 1972 年 7 月 24 日收到。

1) 本工作完成于 1968 年。

$Q_{\text{Na-D}_2\text{O}}$ 由下式表示:

$$Q_{\text{Na-D}_2\text{O}} = \frac{n}{\eta \cdot e^{-\lambda_{\text{Na}} t'}}$$

其中: η —— 4π -BF₃ 探测器对 Na-D₂O 源的效率; n —— 4π -BF₃ 探测器的计数率; τ —— 4π -BF₃ 探测器系统的死时间; t' ——Na-D₂O 源放入锰浴到由 4π -BF₃ 探测器测量的时间间隔。

$\frac{1 - \lambda_{\text{Na}}/\lambda_{\text{Mn}}}{e^{-\lambda_{\text{Na}} t'} - e^{-\lambda_{\text{Mn}} t'}}$ 是由于 Na-D₂O 源的半衰期较短, 在锰浴测量中需要对 Na-D₂O 源作修正。

由以上公式可以看出, 只需要测量 $N_{\text{Ra-Be}}$ 、 η 、 n 、 τ 、 $N_{\text{Na-D}_2\text{O}}$ 五个量, 就可以确定 $Q_{\text{Ra-Be}}$ 。

二、实验装置及测量

(一) 4π -BF₃ 探测器及其效率

本实验所用的 4π -BF₃ 探测器, 是由 8 支浓缩硼计数管分别从两头插入长为 74 厘米的圆柱形石蜡体内所组成, 如图 1 所示。

所有 BF₃ 管并联使用。为了减少 Na²⁴ 的强 γ 射线影响, 采用快分辨时间的前置放大器是必要的, 实验表明, 即使在探测器中心放入 26 毫居里 Ra 管, 其影响也在偏压 15 伏特以下, 本工作偏压为 25 伏特。

氡电离室直径为 50 毫米、高 70 毫米的不锈钢圆柱体, 中间插入外径为 5 毫米的中空电极。电离室进行了 24 小时的加温 (200℃) 去气。经铀炉纯化后的氡气充入电离室内, 充气压为 730 毫米汞高。用于电离室的低噪声前级噪声水平约 8 微伏特。

在测量 4π -BF₃ 探测器的效率中采用门电路符合法。由氡电离室的质子脉冲输入门电路, 打开两个电子门, 门宽各为 800 微秒。两个门相距 900 微秒。第一个门用来记录与开门质子同时产生的中子, 第二门用于记录本底。

4π -BF₃ 探测器对 Na-D₂O 源的效率 η 为:

$$\eta = \frac{N_n - N_*}{N_p}$$

其中 N_n 为第一个门内的中子记数, N_* 为第二个门记录的中子本底, N_p 为质子脉冲开门次数。

为正确选择电子门宽度, 对中子在探测器内的时间分布用 256 道时间分析器及门电路微分法进行测量, 其结果一致。由图 2 可以看出, 在质子脉冲开门 700 微秒后, 已基本上没有符合中子了。为了使该符合的中子不漏失, 门宽选择在 800 微秒。

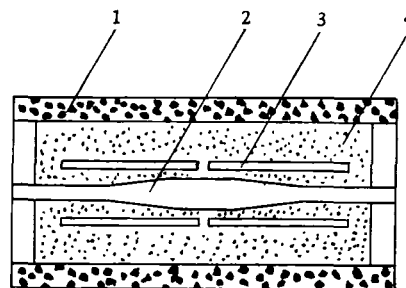


图 1 4π -BF₃ 探测器结构

- 1——含硼石蜡; 2——空腔;
3——B¹⁰F₃ 管; 4——石蜡。

由 η 的表达式可看出, 在 N_p 的测量中如果有 γ 作为质子被记录, 必然引起 η 的下降, 因此正确地选择质子道阈值和扣除本底尤为重要. γ 影响引起 η 下降由图 3 表示.

把 Na- γ -D₂O 电离室放在 4π -BF₃ 探测器中心. 质子脉冲与中子脉冲同时送入门电路, 测量 N_p 、 N_n 、 N_{γ} 三个值. 为避免由于电子线路延迟影响中子符合计数, 在中子脉冲延迟 6 微秒后送入门电路.

(二) Ra- α -Be 源与 Na- γ -D₂O 源在锰浴中比较

在锰浴测量中采用 NaI 闪烁探测器, 多道脉冲幅度分析器记录 Mn⁵⁶ 的全能峰. 这样, 对 200 毫居里 Ra- α -Be 源的本底效应比, 由原来 (G-M 管) 的 1:10 降低到 1:40. 因此, 可以把 Na-D₂O 源产额做得小一点, 以减少 4π -BF₃ 测量误差.

把源放置于直径 1 米、高 1.03 米的锰浴中心. 对 Ra-Be 源和 Na-D₂O 源, 周围分别用 $\phi 90 \times 90$ 毫米和 $\phi 116 \times 120$ 毫米的铝空腔把溶液排开, 以降低源周围热中子通量, 从而减少源自吸收因子. 对 Ra-Be 源和 Na-D₂O 源的照射时间, 分别为 30 小时和 8 小时左右, 照射后用电动搅拌器搅拌 20 分钟, 用浸没式闪烁探测器测量 Mn⁵⁶ 的活性.

(三) Na- γ -D₂O 绝对产额测量

从锰浴中取出的 Na-D₂O 源立即放置于 4π -BF₃ 探测器中心, 以测量当时的产额. 经效率和系统死时间及 Na²⁴ 半衰期修正后, 就可得到放入锰浴时 Na-D₂O 源的绝对产额. 锰浴测量要求源产额高以改善本底效应比, 而 4π -BF₃ 探测器要求源产额低以降低系统死时间修正. 所以 Na-D₂O 源产额选择在 $\sim 2 \times 10^3$ 中子/秒.

(四) 校正因子

Ra- α -Be 源在锰浴中的逃逸、快中子俘获及源和支承物的自吸收, 三项因子参看“锰浴法”的结果^[1]. 分别为

$$L_{\text{Ra-Be}} = [0.45 \pm 0.13] \times 10^{-2},$$

$$P = [2.86 \pm 0.30] \times 10^{-2},$$

$$B_{\text{Ra-Be}} = [0.73 \pm 0.30] \times 10^{-2}.$$

对 Na-D₂O 源, 锰浴中逃逸 $\leq 0.001\%$ ^[2], 可以忽略. 中子能量在 (n, p) (n, α) 反应阈

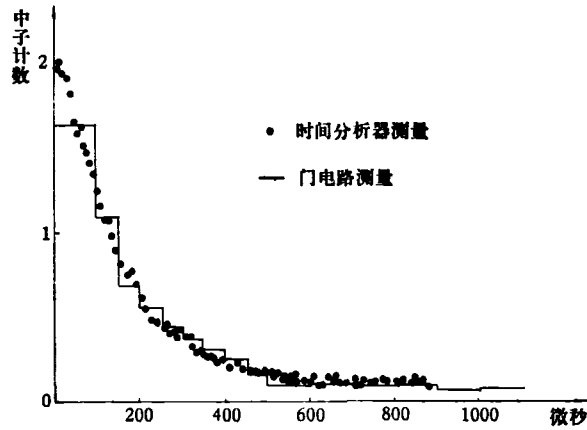


图 2 中子时间分布

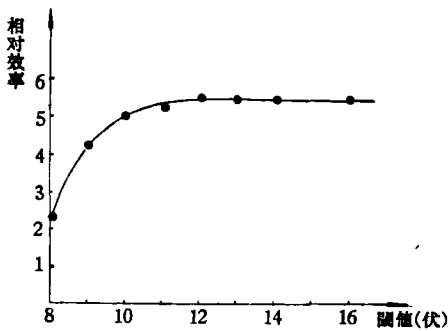


图 3 效率与阈值关系

能以下,所以快中子俘获为零。源及支承物的自吸收同样利用 Ryves^[3] 的结果,内插 0.22 兆电子伏特能量点给出

$$B_{\text{Na-D}_2\text{O}} = [0.97 \pm 0.29] \times 10^{-2}.$$

三、结果及讨论

对 4π -BF₃ 探测器效率刻度进行了 14 次实验。Na-D₂O 源与 Ra-Be 源在锰浴中比较测量进行了 6 次。经各项修正后 Ra-Be 源绝对产额为 2.26×10^6 中子/秒。

1. 误差贡献的项目如下:

1) 4π -BF ₃ 探测器死时间	$\pm 0.26\%$
2) 4π -BF ₃ 探测器效率 η	$\pm 0.20\%$
3) Na-D ₂ O 源刻度	$\pm 0.04\%$
4) Na-D ₂ O 源锰浴比较	$\pm 0.26\%$
5) Ra-Be 源锰浴比较	$\pm 0.27\%$
6) Na ²⁴ 半衰期引入	$\pm 0.25\%$
7) Mn ⁵⁶ 半衰期引入	$\pm 0.19\%$
8) Ra-Be 源及支承物自吸收	$\pm 0.30\%$
9) Na-D ₂ O 源及支承物自吸收	$\pm 0.29\%$
10) 快中子俘获	$\pm 0.30\%$
11) Ra-Be 源中子逃逸	$\pm 0.13\%$
总计	$\pm 0.8\%$

2. 以上给出的误差未考虑测量系统误差。测量系统误差主要是由 4π -BF₃ 探测器效率绝对刻度及 Na-D₂O 源产额测量中引入。

由图 2 可以看出,即使在电子门宽取 800 微秒的情况下,也难以保证应该符合的中子计数不被漏失。同时用于打开电子门的质子脉冲也可能由于强 γ 射线的堆垒或外电源影响而引起假脉冲,这些都会引入系统误差。

在 Na-D₂O 源测量中,由于源结构而引起的强度各向异性,也会带进误差。

但本实验的历次测量中自身符合较好。本工作与同时刻度此 Ra-Be 中子源的“锰浴法”^[1]的结果相比也较一致。因此可以认为结果基本可靠。

最后测量结果为

$$Q_{\text{Ra-Be}} = 2.26(1 \pm 0.8\%) \times 10^6 \text{ 中子/秒.}$$

作者感谢彭华寿同志在制作氡电离室工作中的指导和帮助。

参 考 资 料

- [1] 叶春堂,贾温海,陆挺,物理,第一卷, 3 (1972), 150.
 [2] Y. Gurfinkel et al., *Nucleonics*, 23 (1965), 76.
 [3] T. B. Ryves, *J. Nucl. Energy*, 18 (1964), 49.