

工作简讯

14.6 兆电子伏中子引起 ²⁴¹Am 裂变截面的测量

李 泽 王维国 张百生 王连璧 温同庆 陈志才 孙盛芬

一、引 言

²⁴¹Am 的裂变截面，是研究核裂变机制和用反应堆生产超铀元素所需要的数据之一。14 兆电子伏能量点的数据为数不多，而且分歧较大。大多数超铀元素都有很强的 α 放射性，会对裂变数的测量产生严重的干扰。为克服 α 脉冲的堆垒，通常尽量采用时间响应较快的探测器和电子学线路，如气体闪烁计数器和快电离室。此外，也可用一些对 α 不灵敏的探测器，如火花室和固体径迹探测器等。特别是固体径迹探测器，近十年来得到越来越多的应用，它除了对 α 粒子不灵敏外，还具有简单方便，可用少量样品进行长时间的测量和不受电干扰等优点。但由于它的记录效率的刻度还存在一定的系统误差，故用它作绝对测量还受到一定限制。

本工作用固体径迹探测器云母记录裂变事件，这是相对 ²³⁸U 的裂变截面进行测量的。

二、实 验 测 量

测量是在 400 千伏高压倍加器上用 T(d, n)⁴¹He 反应产生的中子进行照射样品的。氦束能区为 200 千电子伏，氦靶厚度为 0.76 毫克/厘米²，样品距靶 5 厘米，与氦束方向成 45° 角(见图 1)。打在样品上的中子能量为 (14.61 ± 0.31) 兆电子伏。在与氦束成 90° 角的方向记录伴随 α 粒子以监测中子通量的变化。

所用的 ²⁴¹Am 样品，其同位素成分接近 100%。经过质谱分析，质量数不是 241 者不超过千分之一。也用分辨率为 1% 的 α 谱仪对样品进行分析，未发现其它 α 粒子存在。所得 α 能谱如图 2 所示。

²⁴¹Am 电镀在厚为 0.5 毫米、直径为 27 毫米的不锈钢片上，源斑直径为 16 毫米。用小立体角法绝对测量样品的总 α 衰变率，利用 1967 年以后发表的半衰期值^[1](五个测量值的算术平均值为 432.1 ± 1.82 年)计算出样品的 ²⁴¹Am 量为：

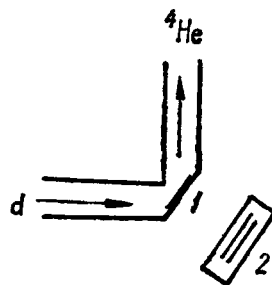


图 1 样品照射示意图
1——T靶；2——样品。

样品号	重量，微克
2#	19.03 ± 0.24
3#	29.00 ± 0.36

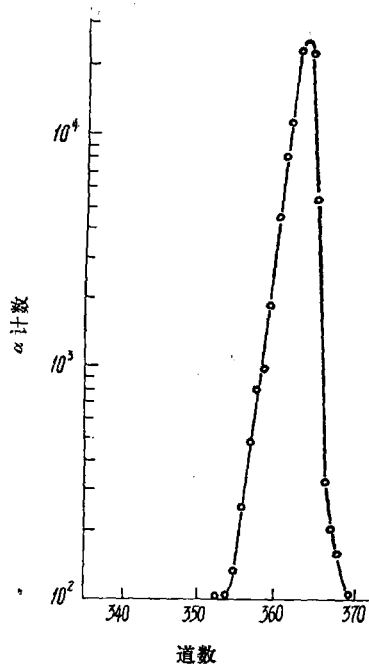


图 2 ²⁴¹Am样品的 α能谱

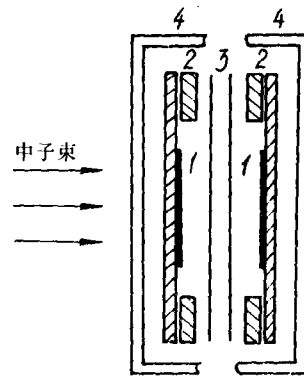


图 3 样品盒装置结构示意图
1—样品；2—垫圈；3—云母片；4—锡盒。

²³⁸U 样品是天然铀，它沉积在厚为 0.4 毫米、直径为 27 毫米的铝片上，源斑直径为 16 毫米。样品的定量是用 2π 立体角的平板电离室绝对测量 α 衰变率，用文献上的天然铀的 α 衰变率 $0.7503/\text{分} \cdot 2\pi \cdot$ 微克^[2]计算，得到铀量为：

样品号	重量，微克
甲 ₂	78.74 ± 1.2
丙 ₂	48.38 ± 0.8

测得的 α 衰变率已对样品的自吸收和底衬的反散射进行了校正。

为了检验样品定量的可靠性，对 ²⁴¹Am 和 ²³⁸U 样品都分别在反应堆引出的中子束上测量了相对裂变比值，其结果与 α 衰变率的比值很好符合。

样品的照射，是把标准的 ²³⁸U 样品和待测的 ²⁴¹Am 样品“面对面”地装在 1 毫米厚的锡盒内，在 14.6 兆电子伏中子束上照射(见图 3)。每个样品上都盖一块云母片记录裂变碎片，云母片的厚度为 0.1 毫米，大小与样品底衬相同。为了不让云母片接触样品(防止擦掉裂变物质)，在样品与云母片之间加一厚为 0.2 毫米的铝垫圈。这样，两个样品相距约 0.5 毫米。由于两个样品对中子源所张的立体角不同和云母片对中子束的影响，两个样品上的中子通量必有差异。为消除这一差异，在照射过程中，把两个样品均等地互换位置。根据样品量的大小，将 ²⁴¹Am 样品 3[#] 和 ²³⁸U 样品甲₂ 号配为第一组，²⁴¹Am 样品的 2[#] 与 ²³⁸U 样品的丙₂ 号配为第二组进行照射。为了便于测量，每一云母片上的径迹数控制在 2000 左右为宜，每一组都进行了六次重复地照射，每次照射都按上述方法互换一次样品的位置。云母片在照射前先进行“预蚀”处理，使原有的本底径迹足够大，与所记录的径迹能明显区分开。照射后的云母片在 40% 浓度的氢氟酸内、在 100℃ 温度下蚀刻 15 分钟，径迹的长度为 40~80 微米。用光学显微镜测量云母片上的全面积径迹数。显微镜的放大倍数为 150 倍。为了消除测量者的过失误差和主观因素，每片云母的径迹数都由六位测量者独立进行测量，所得结果列入表 1。

表 1 中“甲₂在前、3[#]在后”即中子束先通过甲₂ 样品后打在 3[#] 样品上，其它类同。N_s,

表 1 测 量 数 据 表

样 品 位 置			径迹数与 其比值	测 量 者					
				甲	乙	丙	丁	戊	己
第 一 组	甲 ₂ 在 前	3* 在 后	N ₈	14262	14238	13952	14461	14127	14367
			N ₁	9873	9858	9698	10106	10028	9966
			N ₈ /N ₁	1.445	1.444	1.439	1.431	1.409	1.442
	3* 在 前	甲 ₂ 在 后	N ₈ '	13579	13543	13446	13818	13253	13502
			N ₁ '	10263	10468	10379	10662	10331	10426
			N ₈ '/N ₁ '	1.323	1.294	1.296	1.296	1.283	1.295
第 二 组	丙 ₂ 在 前	2* 在 后	N ₈	10204	10102	9996	10397	10082	10068
			N ₁	8087	8030	7789	8243	7773	7913
			N ₈ /N ₁	1.262	1.258	1.283	1.261	1.297	1.272
	2* 在 前	丙 ₂ 在 后	N ₈ '	10380	10567	10348	10486	10244	10416
			N ₁ '	8908	9051	8855	8972	8951	9000
			N ₈ '/N ₁ '	1.165	1.167	1.169	1.169	1.144	1.157

N₁ 分别代表测量到的 ²³⁸U 和 ²⁴¹Am 的裂变径迹数, N₈/N₁ 为两者的比值。N₈', N₁' 和 N₈'/N₁' 是样品互换位置后的结果。由表 1 知各测量者所测出的绝对径迹数相差稍大, 是因为径迹测量的选择条件不一致的缘故, 但作为相对测量影响不大。

三、结 果 比 较

将表 1 中各测量者所测得径迹数的比值进行算术平均, 则得裂变数之比。利用样品的量即算出 ²⁴¹Am 的裂变截面与 ²³⁸U 裂变截面之比值为:

$$\frac{\sigma_{f1}}{\sigma_{f8}} = 2.07 \pm 0.05,$$

此处标的是标准误差, 包括计数的统计误差和测量误差。由于这里所用的薄样品, 云母片记录裂变碎片的效率对两种不同样品可认为相同^[3]。天然铀中所含 ²³⁵U 对截面比的影响已作了校正。实验大厅散射中子引起的裂变本底小于 0.3%, 对截面值的影响可忽略不计。

取 ²³⁸U 的 14.6 兆电子伏中子裂变截面为 1.18 ± 0.047 靶^[4], 那么 ²⁴¹Am 的 14.6 兆电子伏中子裂变截面为 2.44 ± 0.11 靶, 与其他测量结果一起列于表 2 进行比较。

表 2 结 果 比 较

作 者	中 子 能 量, 兆电子伏	σ _f , 靶
普罗托波波夫 (A. H. Протопопов) ^[5]	14.6	2.49 ± 0.15*
卡扎丽娜娃 (M. И. Казаринава) ^[6]	14.6	3.13 ± 0.16*
福姆奇什金 (Э. Ф. Фомчшкин) ^[7]	14.5	2.53 ± 0.12
福姆奇什金 (Э. Ф. Фомчшкин) ^[7]	14.5	2.30 ± 0.15
艾 耶 (R. H. Iyer) ^[8]	14.1	2.86 ± 0.47
本 工 作	14.6	2.44 ± 0.11

* 将 ²⁴¹Am 的 α 衰变半衰期换成 432.1 年所得的结果。

本工作所得结果与其他测量者的结果在误差范围内符合, 但与卡扎丽娜娃(М. И. Казаринава)的结果不符。她的结果明显偏高, 原因不详。

参 考 文 献

- [1] H. Ramthun & W. Muller, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **26**, 589 (1975).
 [2] A. F. Kovarik, *J. Appl. Phys.*, **12**, 296 (1941).
 [3] R. Gold et al., *Nucl. Sci. Eng.*, **34**, 13 (1968).
 [4] 叶春堂, ^{238}U 裂变截面的编译, 内部资料, 1977.
 [5] А. Н. Протопопов и др., *Атомная Энергия*, **6**, 67 (1959).
 [6] М. И. Казаринава и др., *Атомная Энергия*, **8**, 139 (1960).
 [7] Э. Ф. Фомчшкин, *Ядерная Физика*, **5**, 966 (1967).
 [8] R. H. Lyer et al., BARC-474 (1969).

14兆电子伏中子引起的 ^7Li 核生氦截面的测量

祁步嘉 周友朴 申本新 虞志豪 姚锦章

由中子引起的 ^7Li 核的生氦反应截面是 ^7Li 核与中子相互作用截面中一个重要的分截面。许多实验室对 ^7Li 核的中子生氦截面进行过测量。最近我们用液体闪烁快符合法测量了由14兆电子伏中子引起的 ^7Li 核的生氦反应截面。

一、测 量 原 理

我们的测量以 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 的反应截面为标准^[1]。把待测的锂样品夹在两个 ^{27}Al 样品中间, 在14兆电子伏中子束中进行辐照。然后, 用已知效率的 $\text{NaI}(\text{Tl})\gamma$ 探测器测量 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 反应产生的 ^{24}Na 特征 γ 射线全能峰的绝对强度, 用液体闪烁快符合法测量 $^7\text{Li}(n, n'\alpha)\text{T}$ 反应产生的氦的绝对强度。由下面公式求出 ^7Li 生氦反应截面 $\sigma_{n,t}$ 和 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 反应截面 $\sigma_{n,\alpha}$ 的比值:

$$\frac{\sigma_{n,t}}{\sigma_{n,\alpha}} = \frac{N_T \cdot M_{\text{Al}} \cdot \varepsilon_\gamma \cdot \sum N_{\alpha_i} (1 - e^{-\lambda T_i}) \cdot e^{-\lambda t_i}}{N_\gamma \cdot M_{\text{Li}} \cdot \varepsilon_T \cdot N_\alpha}$$

式中 N_T 为单位时间中氦的计数; M_{Li} 为 ^7Li 核的数目; N_γ 为 ^{24}Na 特征 γ 射线全能峰单位时间的计数; M_{Al} 为 ^{27}Al 核的数目; N_{α_i} 为照射过程中第 i 段时间内的单位时间监视器计数; N_α 为监视器的总计数; T_i 为第 i 段照射时间; t_i 为第 i 段照射时间到测量 γ 强度的冷却时间; ε_T 为液体闪烁计数器探测氦的效率; ε_γ 为 γ 探测器的探测效率。

由于在照射过程中中子通量不是恒定的, 因此要分段计算。由文章[1]中给出的 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 的反应截面值 $\sigma_{n,\alpha}$ 就可得出 ^7Li 核的生氦反应截面值 $\sigma_{n,t}$ 。

二、实 验 测 量

1. 锂样品: 我们在实验中用了两种锂样品, 一种是天然锂样品, 另一种是丰度为