

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 核生氚截面的测量

祁步嘉 周友朴 申本新 虞志康 姚锦章

由中子引起的 ^7Li 核的生氚反应截面是 ^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 核的中子生氚截面进行过测量。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 核的生氚反应截面。

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 $^7\text{Li}(n, n'\alpha)\text{T}$ 反应产生的氚的绝对强度。由下面公式求出 ^7Li 生氚反应截面 $\sigma_{n,t}$ 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 为单位时间中氚的计数; 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氚的效率; 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 核的生氚反应截面值 $\sigma_{n,t}$ 。

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

99.99%的浓缩 ${}^7\text{Li}$ 样品。我们得到的初始锂样品都是碳酸锂,对 ${}^7\text{Li}_2\text{CO}_3$ 样品进行了重结晶提纯。然后把碳酸锂转化成醋酸锂,用红外灯烘烤除去醋酸锂中的结晶水。为把反应剩余的醋酸充分去除,进行多次加水反复烘烤。用称重法证明,红外灯烘烤对醋酸锂中结晶水的去除是完全的。

为了定量的可靠,我们对实验中用的锂样品进行了异辛醇萃取容量分析,定量分析误差为0.7%,分析结果与称重定量结果是一致的。分析还证明对 ${}^7\text{Li}_2\text{CO}_3$ 样品进行重结晶提纯是必要的,未经重结晶提纯的样品比重结晶提纯样品中的含锂量要少3%。

在实验中,我们实际使用的锂样品是密封于聚苯乙烯塑料盒中的醋酸锂-甲醇溶液。聚苯乙烯盒的内径 ϕ 20毫米,高3毫米,每个样品盒中可装入醋酸锂120毫克左右。锂样品的定量误差小于1%。

2. 铝样品:我们用 ϕ 20、厚0.5毫米的金属铝样品,样品重量由万分之一天平称重确定,定量误差为0.1%。在整个实验过程中,防止样品被污染是非常重要的。我们把装样品的聚苯乙烯盒进行了仔细的保护。在装入样品前,把聚苯乙烯盒进行清洗,用离子交换水冲洗干净后烘干。聚苯乙烯盒装好样品密封后,由厚100微米左右的聚乙烯薄膜包裹好,再在薄膜外前后各紧贴一 ${}^{27}\text{Al}$ 样品,然后再装入一个薄壁铝盒中。若聚苯乙烯盒中装的是天然锂样品时,则把它们装入一锡盒中。聚苯乙烯盒壁的厚度保证 ${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)\text{T}$ 反应中产生的氟不能穿透。

3. 中子源:样品辐照是在高压倍加器上进行的,用 $\text{T}(d, n)\alpha$ 反应作中子源。用固体氟-钛靶,靶厚 ~ 0.5 毫克/厘米 2 ,入射氟束能量300千电子伏,样品中心与入射氟束成 45° 角。样品距靶10毫米。入射到样品上的中子平均能量为 14.8 ± 0.4 兆电子伏。测量中子源产生的伴随 α 粒子作为中子通量的监视。本底样品放在距靶1米远的地方。

4. 通量的实验校正:样品的厚度3毫米。我们从实验上测量了中子通量在样品中的分布。即把聚苯乙烯样品盒装满铝(ϕ 20、厚0.5毫米的金属铝片6片),用聚乙烯薄膜包裹后,在其后再各紧贴一铝片并放入薄壁铝盒中。用与辐照样品时完全相同的几何在高压倍加器上进行辐照,辐照后在 $\text{NaI}(\text{Tl})\gamma$ 探测器上测出各铝片中 ${}^{24}\text{Na}$ 的特征 γ 射线全能峰的强度,于是可以得出:

$$\frac{N_{\gamma\text{前}} + N_{\gamma\text{后}}}{M_{\text{前}} + M_{\text{后}}} = A \cdot \frac{N_{\gamma 1} + N_{\gamma 2} + N_{\gamma 3} + N_{\gamma 4} + N_{\gamma 5} + N_{\gamma 6}}{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6}$$

式中 M_i 为各铝片的质量数; $N_{\gamma i}$ 为各铝片中 ${}^{24}\text{Na}$ 的特征 γ 射线全能峰单位时间中的计数。从实验上求出 $A=1.03$ 。另外,还对中子与铝及醋酸锂-甲醇溶液的透射率的差别作了计算,其差别小于0.3%。

5. 氟的绝对计数:我们用液体闪烁快符合测量技术测量氟的 β 放射性的方法来确定氟的绝对计数。闪烁液体的探测效率用一已知强度的标准氟源进行刻度。我们用双管快符合测量法,测量线路方框图见图1。图中I, II表示光电倍增管。整个探头置于壁厚10厘米的铅室中,光电倍增管外面有一水冷却套,以减小测量受环境温度变化的影响。

装闪烁液体的测量盒是直径40毫米,高30毫米的圆柱体。盒体是铝质的,经过氢氧化钠处理后表面呈银白色,可改善光的反射。盒体两端用粘合剂封接窗玻璃,玻璃厚1.5毫米。我们选用的玻璃是由同一块大玻璃上切割下来的,以减小窗之间的差别。闪烁液是把5克三联苯和0.5克POPOP溶于1000毫升甲苯中制得的。

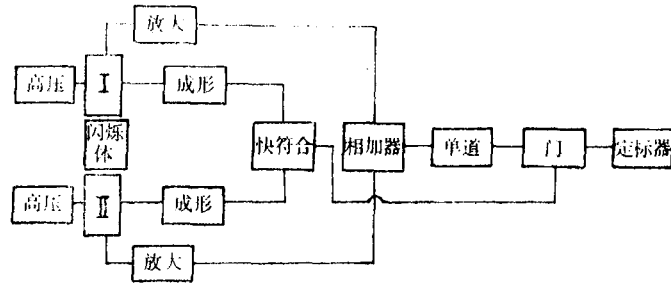


图 1 测量线路方框示意图

把辐照后的聚苯乙烯锂样品盒从薄壁铝盒中取出，整个封装于闪烁盒中，等封接玻璃的粘合剂牢固以后，先注入 3 克甲醇，然后再注满闪烁液体并把注入口密封，待聚苯乙烯盒完全溶于闪烁液体中后再轻轻摇匀，即可作为待测样品进行测量。往闪烁盒中加甲醇是防止醋酸锂在闪烁液中的析出，保证闪烁液体的清澈透明。

6. 液体闪烁探测器的效率刻度：

① 标准氚源的获得：在反应堆水平孔道上，用重水反应堆产生的热中子束同时照射

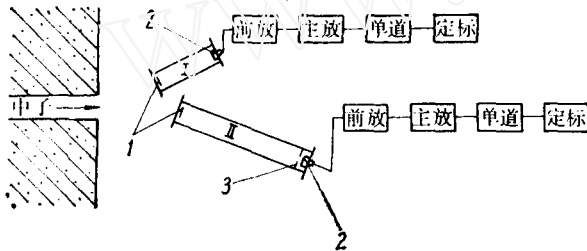


图 2 获得定量氚样品的实验装置示意图
I——监视器；II——小立体角测量室；1——⁶LiF靶；
2——半导体探测器；3——光栏。

装在监视器和小立体角测量室中的⁶LiF靶，用金硅面垒半导体探测器探测粒子。实验测量示意图见图 2。监视器和小立体角测量室都抽成真空。测出⁶Li(n, α)T反应的谱后(α峰和T峰能很好地分开)。用单道选取合适的阈，测定小立体角测量室和监视器之间氚计数的比值。比值测定后，把 0.3—0.4 毫米厚，直径远大于⁶LiF靶的聚苯乙烯片覆盖于小立体

角测量室的⁶LiF靶上。小立体角测量室抽真空后仍置于原来的位置，经中子束照射一定时间后，记下监视器的计数，则聚苯乙烯片中所含的氚强度为：

$$N_T = G \cdot \frac{2\pi}{\Omega} \cdot N_{监}$$

式中 N_T 为聚苯乙烯片中所含氚的强度； Ω 为小立体角测量室探测器对⁶LiF靶张的立体角； G 为小立体角测量室与监视器的氚计数比值； $N_{监}$ 为监视器的计数。

小立体角测量室光栏直径为 15.695 毫米，⁶LiF靶至光栏的距离为 285.44 毫米，⁶LiF靶的直径为 18 毫米。考虑了统计误差，几何误差及阈修正等以后，聚苯乙烯片中含氚量的误差为 1%。

② 闪烁探测器的效率刻度：把已知含氚强度的聚苯乙烯片封入闪烁盒内，把其闪烁液体成分和待测样品的闪烁液体成分配得完全相同，这就获得了标准氚源样品。把待测样品和标准样品在相同的条件下进行测量，即可定出待测样品中氚的绝对强度。我们的液体闪烁探测系统的测氚效率为 22% 左右。

三、测量结果

实验测量结果见表1。截面实验测量值的主要误差来源见表2。表2中的氚强度测量误差只是举出了3[#]样品的测量误差,这项误差随不同样品测量情况的不同差别是比较大的。例如,2[#]样品氚强度测量误差为8.8%。所以,提高氚强度的测量精度,减小其测量误差是实验中的重点。

表1 实验测量结果

样品序号	$\sigma_{n,t}/\sigma_{n,\alpha}$	$\sigma_{n,t}$,毫靶
2 [#] (天然锂)	2.80	324.5 ± 33
3 [#] (⁷ Li)	2.81	325.7 ± 23
5 [#] (⁷ Li)	2.98	345.4 ± 35
加权平均	2.85	330 ± 21

表2 误差的主要来源及大小

误差来源	氚强度测量	标准截面	γ 探测器的效率刻度	γ 强度测量	⁷ Li 定量	²⁷ Al 定量
误差大小	±5%	±3.4%	±2.2%	±0.2%	±1%	±0.1%

另外,在进行 γ 强度测量中考虑了样品的自吸收修正和径向修正。还考虑了测量中氚的衰变,从实验上进行了通量校正。

我们的测量结果与 M. E. Wyman^[2]和 F. Brown^[3]的测量结果在误差范围内是一致的。与工作^[4]给出的推荐值在误差范围内也是一致的。详细情况见表3。

表3 测量结果的比较

作者	入射中子能量,兆电子伏	截面,毫靶
本文	14.8 ± 0.4	330 ± 21
Wyman 等 ^[2]	14.8 ± 0.2	305 ± 20
Brown 等 ^[3]	14.85	352* ± 25
编评推荐值 ^[4]	14.8	318 ± 22

* 用1975年 J. B. Crirr 等发表的²³⁵U 裂变截面随中子能量变化的数据^[5]校正后应为 349 ± 25。

在实验过程中,九室为我们提供了⁷LiCO₃样品,邱孙太同志对样品作了化学定量分析,激发曲线组的同志为我们提供了测量 γ 强度的方便,对此致以谢意。

参 考 文 献

[1] 卢涵林等,原子能科学技术, 2, 113 (1975).
 [2] M. E. Wyman et al., LA-2235 (1958).
 [3] F. Brown et al., Reactor Sci. Technol., 17, 137 (1963).
 [4] 戴能雄等, ⁷Li 中子截面数据的联立评荐, hsj-27082(bp), 内部资料, 1976.
 [5] J. B. Crirr et al., Nucl. Sci. Eng., 57, 18 (1975).