

表 3 本文结果与日本京都大学结果相比较

元 素	本文结果, b	日 本 京 都 大 学 结 果, b
Al	0.529 ± 0.005	0.538 ± 0.008 ^[3]
C	4.63 ± 0.05	4.75 ± 0.036 ^[1] , 4.684 ± 0.009 ^[3]
Be	5.91 ± 0.04	5.903 ± 0.011 ^[3]

不够理想, 这可能与仪器的稳定性有关。如果在这方面加以改进, 选用纯度高的材料作样品, 将截面值的测量误差降低到 0.5% 以下是不困难的。

参 考 文 献

[1] H. T. Heaton, *Nucl. Sci. Eng.*, **56**, 27 (1975).
 [2] 马鸿昌等, *原子能科学技术*, **3**, 276 (1980),
 [3] Robert C. Block et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **12**, 1(1975).

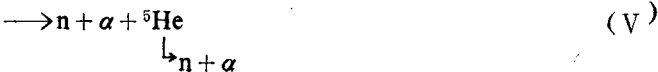
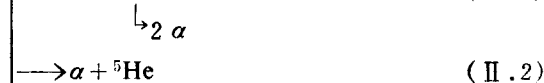
(编辑部收到日期: 1981年7月13日)

14.1 MeV 中子与 ⁹Be 相互作用产生的 次级中子能谱

馬維义 孙汉城 那相印 閻 辰 崔云峯 李素梅

一、引 言

14.1 MeV 中子与 ⁹Be 相互作用产生次级中子的反应有下列反应道:





(I)是弹性散射；(II)是非弹性散射。 γ 退激反应道(II.4)的几率很小，非弹性散射基本上都发展成反应道(II.1)、(II.2)或(II.3)，都属于(n,2n)反应。总之，14.1 MeV中子与 ^9Be 作用产生次级中子的反应，除了弹性散射和极弱的(n,n' γ)分支以外，都是 $^9\text{Be}(n, 2n)2\alpha$ 四体反应。在中子能谱上，除了弹性散射峰和非弹性散射峰以外，就是由级联衰变或多体崩裂过程产生的连续谱。

关于弹性散射和激发到 ^9Be 2.43 MeV态的非弹性散射，已有若干作者用飞行时间方法测量了角分布^[1-7]。大多数作者所测散射角范围较窄(23°~140°)。J. Roturier^[4]所测范围很宽(8°~160°)，但他没有作多次散射修正。M. Hyakutake^[6]的测量范围是10°~165°，但在大角度区的数据与其它文献有较大分歧。我们在10°~160°散射角范围内用核乳胶方法作了独立的测量。关于激发到 ^9Be 6.76 MeV态的非弹性散射角分布，文献上尚无报道，我们对此也进行了测量。

较完整地报道次级中子能谱的文献还很少。早期L. Rosen^[8]用核乳胶方法测量了经铍球壳积分的中子能谱。后来，D. M. Drake^[7]用飞行时间方法测量了一系列散射角的中子谱，精度较高，但散射角范围较窄(27.5°~145°)。我们用核乳胶方法测量了10°~160°范围的次级中子谱，然后作空间积分得到空间积分谱。

二、实验装置

实验装置如图1所示。铍样品是总重36.3克、纯度为99.9%的粉末。装在壁厚0.1毫米， $\phi 40 \times 40$ 毫米的圆柱形铝盒内。样品中心离中子源130厘米。

中子源由高压倍加器的氘核轰击氘-钨靶得到。束流约40微安。在整个实验测量过程中，源强保持在大约 1×10^9 中子/秒的水平。

本实验的关键是要有较高的“效应-本底比”。

我们在工作[9]的基础上，采用了将中子源全屏蔽的方案。用铁砖砌成长160厘米、宽100厘米、厚134厘米的屏蔽体，置于水泥台上。铁屏蔽体中心放置氘靶。在同氘束成90°的方向上用一张角为 $\pm 1^\circ 2'$ 、窗口呈矩形的准直器将中子引出照射到铍样品上。同氘束成0°方向还有一个孔道供监视用。为了减少低能中子本底，铁屏蔽体两端还有30厘米厚的石蜡。实验表明，在铍样品周围的乳胶中“效应-本底比”已达3:1，可以进行实验测量。

所用乳胶是天津感光胶片厂生产的脱底核-3型，厚500微米，长宽各2厘米。乳胶用厚0.3毫米的锡盒包装，悬挂在支架上。乳胶到铍样品中心距离为16厘米，在散射角10°~160°范围内选8个角度放置乳胶。10°角的乳胶到铍样品中心距离为22厘米，以免乳胶受入射中子束的直接照射。

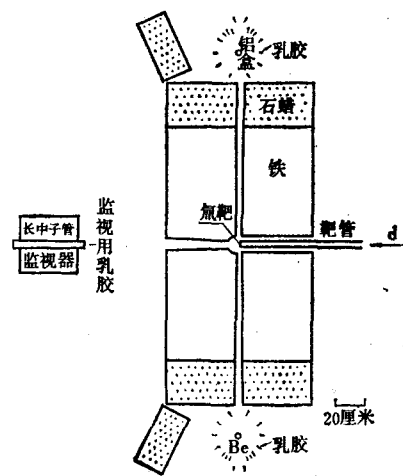


图1 实验装置平面图

为了测量本底,在准直器的另一端以空铝盒作样品,周围放置乳胶片记录本底。

监视器用两套。一套是长中子管,监视靶头中子产额并记录积分通量。另一套是乳胶,记录积分通量。

三、实验测量

1. 中子记录 如图1的安排,效应和本底同时记录。总计照射1000微安小时。为了消除准直器两端本底可能不同而引进的误差,当累计照射到500微安小时的时候,将装有铍样品和乳胶的效应支架与装有铝盒和乳胶的本底支架对换位置。整个实验过程中用5片监视片,每200微安小时换一片,以免监视片中的径迹密度过高而妨碍观测。

效应实验结束后,在原来铍样品的位置上放一测通量用的乳胶片,照射50微安小时。同时在监视器位置用长中子管和乳胶作归一记录。由此得到铍样品所受中子照射的总积分通量。

2. 乳胶处理和测量 用阿米妥儿显影剂温度显影法显影处理。测量显微镜物镜用45~100倍,目镜用10倍。

测量了散射角为 $10^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 160^\circ$ 的效应片与本底片中的反冲质子径迹。径迹选择条件用定向角锥法^[10]。角锥大小选用 25° 。对能谱的高能部分,改用 15° 角锥以提高能量分辨率。用电子计算机由径迹参数计算得中子能谱。能谱测量下限是0.3 MeV。

测通量用乳胶片也测反冲质子径迹,选择角锥 15° 。

监视用与归一记录用的乳胶,测量由 $^{12}\text{C}(n, n')^3\alpha$ 反应引起的三叉星数目,以此作14 MeV中子通量的相对测量。

四、实验结果

测得的中子谱作了大厅本底修正,用蒙特卡罗方法作了入射中子的低能污染、铍样品中多次散射、通量衰减与角分辨率修正后,得如下结果。

1. 中子能谱 各散射角的中子谱如图2。由图可见,弹性散射 $^9\text{Be}(n, n)^9\text{Be}_{2.43}$ 与非弹性散射 $^9\text{Be}(n, n')^9\text{Be}_{2.43}^*$, $^9\text{Be}(n, n')^9\text{Be}_{6.76}^*$ 有明显的峰。图3是由新的轻核能级图^[12]引来的 ^9Be 能级图。 $^9\text{Be}_{2.43}^*$ 峰实际上是1.68到3.05 MeV 4条能级的总贡献,由于中子谱分辨率的限制,分不开这几条能级。

将各散射角的中子谱作空间积分得到空间积分的中子谱,如图4所示。为了比较,图上也列出了L. Rosen^[8]的结果。两家的结果是符合的。在10 MeV以上的 $(n, 2n)$ 谱,本文比文献[8]的高,这是因为文献[8]用球壳积分法将高能中子当作弹性散射中子去掉了。

2. 弹性散射角分布和截面 角分布如表1和图5所示,图5中还列出了一些文献的结果。由微分截面积分得到弹性散射截面,与文献结果的比较见表2。各家数据在误差范围内是符合的。

3. 非弹性散射角分布和截面 ^9Be 2.43 MeV 态的非弹性散射角分布如表3和图6。图中实线转引自文献[4],是T. Tamura用耦合道理论计算的。积分截面与文献结果的比较见表4。 ^9Be 6.76 MeV 态非弹性散射角分布见表5和图7。图7横座标用与转移动量相

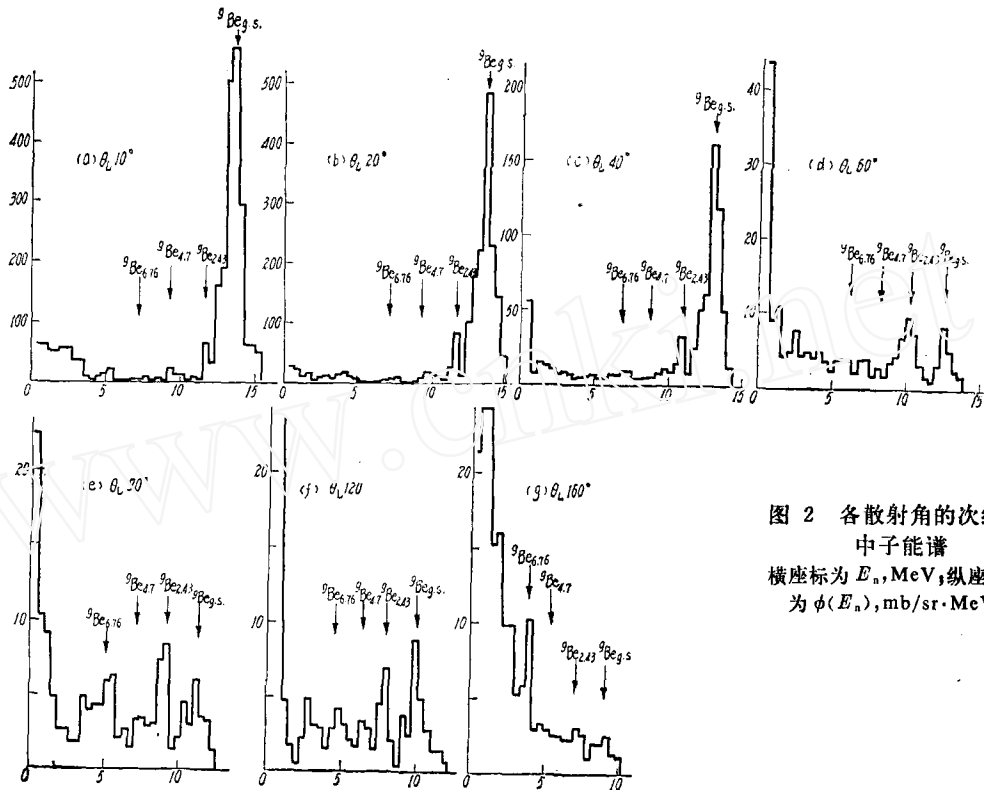


图 2 各散射角的次级中子能谱
横坐标为 E_n , MeV, 纵坐标为 $\phi(E_n)$, mb/sr·MeV。

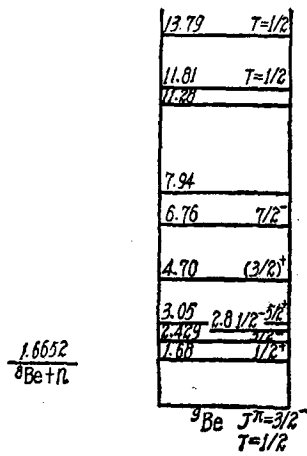


图 3 ${}^9\text{Be}$ 能级图

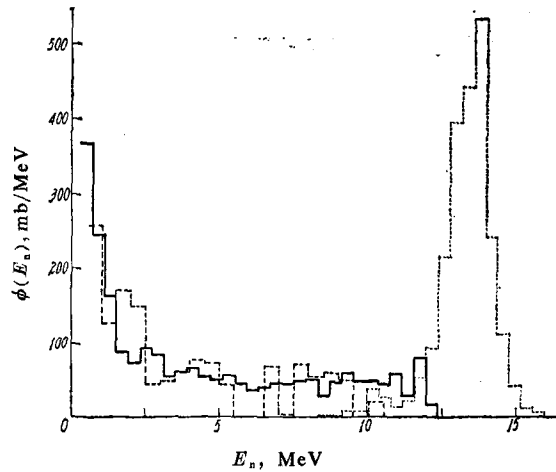


图 4 次级中子能谱(空间积分谱)

.....(n,n)本文; ——(n,2n)本文;
----- (n,2n)文献[8].

应的波数 \vec{K} 表示。从 ${}^9\text{Be}$ 基态 $(\frac{3}{2}^-)$ 跃迁到 6.76 MeV 态 $(\frac{7}{2}^-)$, 转移的轨道角动量是 2, 图中曲线即 $|j_2(KR)|^2$, R 取为 6 fm。已知 ${}^9\text{Be}$ 核半径为 3.12 fm^[14], 出射中子平均德布罗

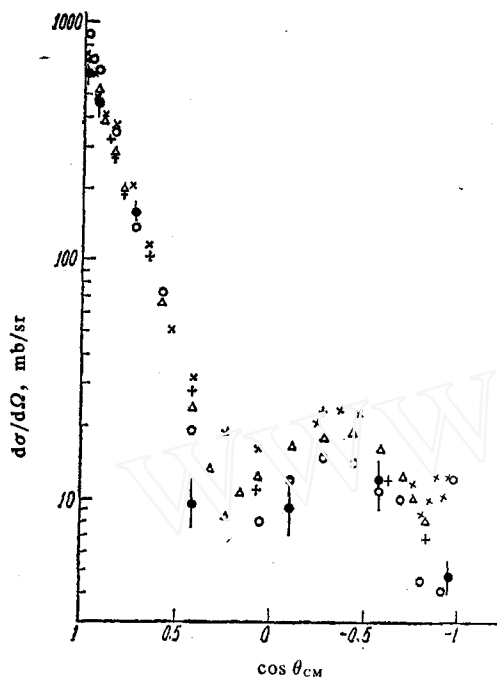


图 5 弹性散射微分截面
×[4]; +[7]; Δ[5]; O[6]; ●本文。

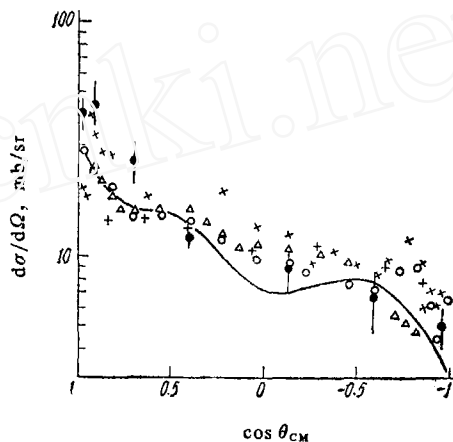


图 6 ${}^9\text{Be}(n, n'){}^9\text{Be}_{2.43}^*$ 非弹性散射微分截面
×[4]; +[7]; Δ[5]; O[6]; ●本文;
——Tamura 计算。

表 1 弹性散射微分截面 (质心系)

$\cos\theta_{CM}$	0.981	0.926	0.718	0.414	-0.111	-0.581	-0.952
$d\sigma/d\Omega, \text{mb/sr}$	611 ± 55	463 ± 73	163 ± 10	9.5 ± 2.3	9.3 ± 2.6	11.7 ± 2.4	4.6 ± 0.6

表 2 弹性散射截面

作者	本文	[1]	[5]	[6]	[7]	评价推荐值 ^[13]
σ_{el}, mb	906 ± 80	940 ± 50	950 ± 70	1051 ± 43	995 ± 109	935.2

表 3 ${}^9\text{Be}$ 2.43 MeV 态非弹性散射微分截面(质心系)

$\cos\theta_{CM}$	0.9808	0.9246	0.7124	0.4044	-0.1236	-0.5898	-0.9534
$d\sigma/d\Omega, \text{mb/sr}$	36.2	43.5	25.6	11.7	8.56	6.4	6.2
	± 6.1	± 9.6	± 5.6	± 1.6	± 1.9	± 1.9	± 1.2

意波长 λ , 为 2.3 fm。 ${}^9\text{Be}$ 核半径与出射中子平均波长和为 5.4 fm, 与作用半径 R 接近。

由微分面积分得 ${}^9\text{Be}$ 6.76 MeV 态非弹性散射截面为 $32 \pm 8 \text{ mb}$ 。

4. (n, 2n) 反应截面 由各散射角的次级中子能谱扣去弹性峰, 积分除以 2 得 (n, 2n)

表 4 ${}^9\text{Be}$ 2.43 MeV 态非弹性散射截面

作者	本文	[5]	[6]	[7]	[2]
$\sigma_{\text{in.}}$	177	150	152	165	170
mb	± 24	± 20	± 5	± 52	± 30

表 5 ${}^9\text{Be}$ 6.76 MeV 态非弹性散射微分截面 (质心系)

$\cos\theta_{\text{CM}}$	0.98	0.916	0.696	0.374	-0.0672	-0.568	-0.904
$d\sigma/d\Omega$	1.8	3.0	3.2	2.4	2.4	2.1	2.5
mb/sr	± 0.8	± 1	± 0.8	± 0.5	± 0.6	± 0.5	± 0.5

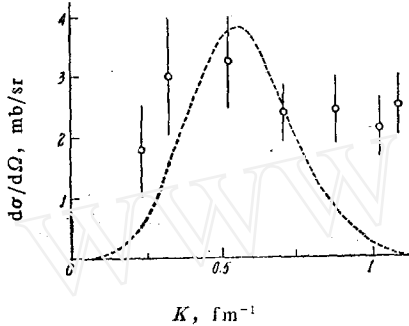


图 7 ${}^9\text{Be}(n, n'){}^9\text{Be}^*_{6.76}$ 非弹性散射微分截面

表 6 (n, 2n) 反应截面

作者	本文	[7]	[15]	评价推荐值 ^[13]
$\sigma_{r,2n}$	548	566	480	508.3
mb	± 59	± 84	± 60	

截面, 见表 6。

六、结 论

1. 本文用乳胶方法测量产生中子的各反应道截面, 所得结果与文献上用其他方法测量的结果在误差范围内一致, ${}^9\text{Be}$ 6.76 MeV 态非弹性散射角分布数据是本文第一次得到的。

2. 14.1 MeV 中子与 ${}^9\text{Be}$ 的非弹性散射角分布与直接相互作用理论符合, 这说明主要是直接相互作用过程。

参 考 文 献

- [1] M. P. Nakada et al., *Phys. Rev.*, **110**, 1439 (1958).
- [2] J. D. Anderson et al., *Phys. Rev.*, **111**, 572 (1958).
- [3] F. G. J. Perey, Proc. Intern. Conf. on Nuclear Structure, Kingston, 1960, p. 387.
- [4] J. Roturier et al., *Ann. Phys.*, **4**, 289 (1969).
- [5] F. Merchez et al., Nuclear Data for Reactors, Vol. I, Vienna, 1967, p. 393.
- [6] M. Hyakutake et al., *J. Nucl. Sci. Tech.*, **11**, 407 (1974).
- [7] D. M. Drake et al., *Nucl. Sci. Eng.*, **63**, 401 (1977).
- [8] L. Rosen et al., *Phys. Rev.*, **107**, 824 (1957).
- [9] 张应等, 14.1 MeV 中子 ${}^7\text{Li}$ 相互作用产生的次级中子能谱, 未发表。
- [10] 张应等, 原子能科学技术, **1**, 1 (1963).
- [11] 二机部核数据中心编, 反应堆核数据汇编, hsj-76017 (hb), 内部资料, 1976.
- [12] F. Ajzenberg-Selove, *Nucl. Phys.*, **A320**, 1(1979).
- [13] 二机部核数据中心编, 评价中子数据汇编, hsj-79250 (hb), 下册, 73页, 内部资料, 1979年。
- [14] H. R. Collard et al., Nuclear Radii (载 Landolt-Borstein, New Series, Group 1, Vol. 2, Springer-Verlag, 1967, p. 32).
- [15] 袁汉熔等, ${}^9\text{Be}(n, 2n)$ 反应截面测量, 原成[72]-002, 内部资料, 1972年。

(编辑部收到日期: 1980年4月10日)