

图 1 实验装置示意图

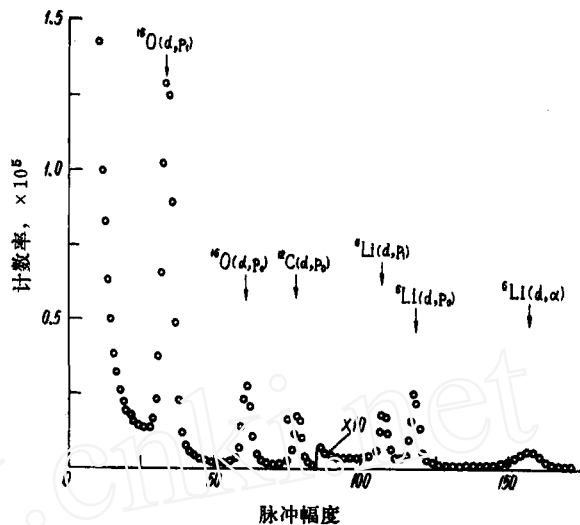


图 2 金-锂-金靶带电粒子监视谱

由加速器引出的 2.2 MeV 氘核与靶面成 45° 入射。氘核经防氧化的金层进入锂层表面时能量为 2.1 MeV。在锂层中氘核平均能量为 2.06 MeV。

实验装置如图 1 所示。在与氘束成 90° 方向用半导体探测器测量带电粒子谱。带电粒子进入半导体前经过真空密封 Mylar 薄膜 (与 8 微米厚的铝等效) 和 30 微米厚铝箔。弹性散射的氘核和 ${}^7\text{Li}(d, \alpha)$ 反应产生的 α 粒子都被吸收掉。这样测得的带电粒子监视谱如图 2 所示。其中 ${}^6\text{Li}(d, p_0)$ 和 ${}^6\text{Li}(d, \alpha)$ 计数作效应归一用。

我们所用苾晶体闪烁谱仪参考了文献 [6,7]。苾晶体 $\phi 30 \times 30$ 毫米, 光电倍增管为 56 AVP。用饱和-抵消法分辨中子- γ 射线, 用 4096 道多道分析器记录。

慢化谱仪由厚度不同的几个石蜡球壳和置于球心的包铜皮的微型 ${}^{10}\text{BF}_3$ 计数管组成。我们参考了文献 [8], 但我们在球心所用探测器与 [8] 所用不同。球壳外径 40 厘米, 壁厚分别为 2, 6, 8, 15 厘米。用蒙特卡罗方法计算各个球壳-计数管组合对单色中子的效率曲线 $\eta_i(E)$ 。对 6 厘米厚的球壳的效率曲线作了单色中子的实验检验, 证明计算是正确的。

用苾晶体测谱时, 测量了散射角为 $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 80^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ 的中子能谱。用丰度为 90% 的浓缩 ${}^6\text{Li}$ 靶扣除 ${}^6\text{Li}(d, n)$ 和 ${}^{12}\text{C}(d, n)$ 本底。扣除本底时以 ${}^6\text{Li}(d, p_0)$ 和 ${}^{12}\text{C}(d, p_0)$ 计数归一。 ${}^6\text{Li}$ 靶产生的 (d, n) 中子谱如图 3 所示。所测得反冲质子积分谱用逆矩阵法解出中子谱。

用慢化谱仪测谱, 本工作只测了两个角度, 30° 和 80° 。实验表明, 低能中子谱与角度的关系不大, 我们即用这两个角度所测结果的平均作为空间平均结果。石蜡球壳中心离靶 62 厘米。另外在离靶 1.7 米处测大厅本底 (靶与石蜡球壳间挡铁-石蜡屏蔽锥)。对 2, 6, 8, 15 厘米厚的球壳, 大厅本底计数依次占 22%, 12%, 8% 和 4%。除此以外, 还有

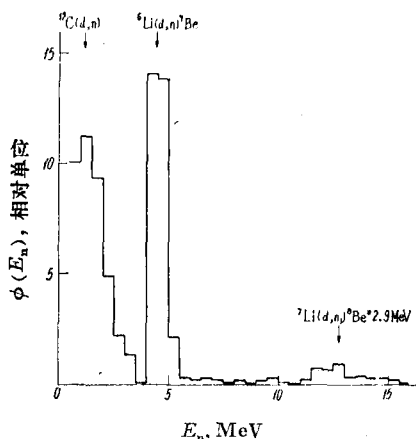


图3 ${}^6\text{Li}$ 靶在 2.06 MeV 氘作用下产生的中子谱
 ${}^6\text{Li}$ 丰度 90%； $\theta_L = 45^\circ$ 。

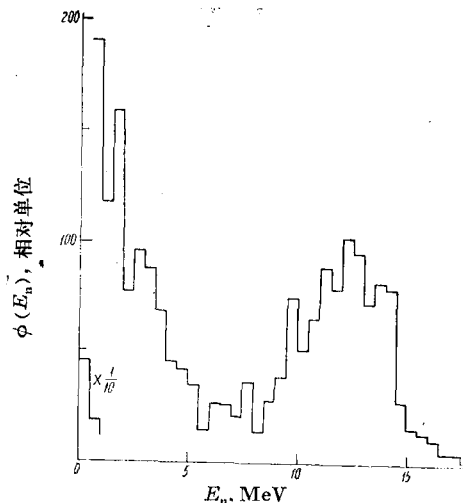


图4 2.06 MeV 氘核引起的 ${}^7\text{Li}(d, n)$ 中子能谱

靶上沾污的碳、氧的 (d, n) 中子本底。用无锂的金箔空靶实验表明，金箔靶的 ${}^{12}\text{C}(d, p_0)$ 峰与 ${}^{16}\text{O}(d, p_0)$ 峰计数之比与金-锂-金靶的有明显差异，不宜作靶头沾污本底测量之用。经多种靶的试验后，带电粒子监视谱表明，银箔靶的碳、氧 (d, p_0) 峰计数比与效应靶的接近，可用来扣除靶头沾污本底。对于上述球壳，靶头沾污本底计数依次占 14%，5%，6% 和 2%。

用慢化谱仪测中子谱 $\phi(E)$ 时，令第 i 个球壳的计数率为 A_i ，则有

$$A_i = \int_0^\infty \phi(E) \eta_i(E) dE, \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

方程(1)是一组积分方程，需用近似解法求解。我们用最简单的矩形谱近似法，(1)式近似作

$$A_i = \sum_j \bar{\eta}_{ij} \phi_j \Delta E_j, \quad i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中 $\bar{\eta}_{ij}$ 为 $\eta_i(E)$ 在第 j 能区的平均值，参见文献[9]， ΔE_j 为第 j 能区的道宽， ϕ_j 为第 j 能区每单位能量内的中子数。由(2)式容易解得 ϕ_j 。

三、测量结果

1. 空间平均谱和平均能量 各角度测得的中子谱按立体角因子作权重平均得空间平均谱，如图4和表1所示。

表1中0.5 MeV以上用 LiF 晶体测量结果。0.5 MeV以下用慢化谱仪数据。两种方法在可比较能区都是符合的，如表2所示。

由表1还可求得中子平均能量 $\bar{E}_n = 5.94 \pm 0.48$ MeV。将文献上各种入射能量的氘引起的 ${}^7\text{Li}(d, n)$ 反应中子平均能量的数据与本文数据整理在一起得图5。

2. 各反应道的分支比 按文献[3]的方法，将 LiF 晶体所测得能谱解剖得 ${}^8\text{Be}_{g, \dots}$ ， ${}^8\text{Be}_{2,94 \text{ MeV}}$ ， ${}^5\text{He}_{g, s}$ ，和 ${}^5\text{He}_{4,1 \text{ MeV}}$ 各反应道的分支比，再加上慢化谱仪结果，得 ${}^8\text{Be}_{16,63 \text{ MeV}}$

表 1 2.06 MeV 氘核引起的 ${}^7\text{Li}(d, n)$ 中子谱

E_n, MeV	$\phi(E_n)$	E_n, MeV	$\phi(E_n)$	E_n, MeV	$\phi(E_n)$
0~0.5	461.3±124.5	6~6.5	26.8±0.9	12~12.5	102.0±2.7
0.5~1	190.6±66.7	6.5~7	26.1±1.0	12.5~13	94.9±2.0
1~1.5	117.5±38.8	7~7.5	20.5±0.9	13~13.5	72.2±1.1
1.5~2	158.5±51.3	7.5~8	36.0±3.0	13.5~14	81.6±1.3
2~2.5	77.6±5.4	8~8.5	13.9±0.6	14~14.5	78.6±1.4
2.5~3	95.9±4.8	8.5~9	27.8±1.0	14.5~15	28.1±2.5
3~3.5	87.9±4.4	9~9.5	38.9±1.8	15~15.5	15.8±1.2
3.5~4	69.3±3.5	9.5~10	75.0±1.3	15.5~16	14.0±1.0
4~4.5	45.8±2.3	10~10.5	50.5±2.7	16~16.5	10.6±0.5
4.5~5	42.3±2.1	10.5~11	65.0±0.9	16.5~17	5.2±0.3
5~5.5	35.1±1.8	11~11.5	88.8±1.5	17~17.5	5.1±0.3
5.5~6	14.3±0.4	11.5~12	78.3±1.2	17.5~18	1.5±0.1

表 2 苾晶体和慢化谱仪测量结果比较

E_n, MeV	0~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~18
苾晶体结果		7.3±2.4	11.25±2.6	7.05±0.3	55.1±2.8
慢化谱仪结果	18.2±5.1	9.2±3.5	12.0±5.9	5.1±3.8	54.9±2.9

表 3 各反应道分支比

反 应 道	${}^8\text{Be}_{g.s.}$	${}^8\text{Be}_{2.94\text{MeV}}$	${}^8\text{Be}_{16.88\text{MeV}}$	${}^5\text{He}_{g.s.}$	${}^5\text{He}_{4.1\text{MeV}}$	${}^8\text{Be}$ 道	${}^5\text{He}$ 道
分 支 比	10.5	28	9.6	28.8	23.1	48.1	51.9

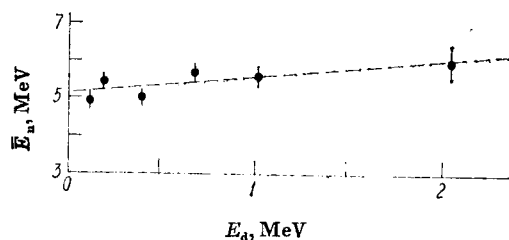


图 5 中子平均能量与入射氘核能量的关系

道的分支比, 如表 3 所示。

参 考 文 献

[1] C. G. Trail et al., *Phys. Rev.*, **95**, 1363(1954).
 [2] C. H. Johnson et al., *Phys. Rev.*, **133B**, 1181(1964).
 [3] 阎辰等, 原子核物理, **2**, 137(1980).
 [4] 戴能雄等, 110, 190 keV 氘核引起的 ${}^7\text{Li}(d, n)$ 反应中子能谱, 待发表。
 [5] J. C. Slattery et al., *Phys. Rev.*, **108**, 809(1957).
 [6] T. Hiramoto et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **46**, 261(1967).
 [7] T. Hiramoto et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **58**, 167(1968).
 [8] R. L. Bramlett, *Nucl. Instrum. Methods*, **9**, 1(1960).
 [9] 孙汉城, 射线物理测量方法, 原子能出版社, 1975, 117 页。