

## Am- $\alpha$ -Be 中子源能谱

張 应 梁东麒 王效忠 董明理 于春英 慎偉琦 撒 駿

由于 ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ 反应对于 $\alpha$ 粒子发射体给出最高的中子产额, 所以通常都用铍制造放射性中子源。制造中子源的重要问题是选择适当的 $\alpha$ 发射体。过去, ${}^{210}\text{Po}$ ,  ${}^{239}\text{Pu}$ 和 ${}^{226}\text{Ra}$ 是常用的 $\alpha$ 发射体。然而 ${}^{226}\text{Ra}$ 有很强的 $\gamma$ 放射性, 保存和使用都不方便; ${}^{210}\text{Po}$ 虽无此缺点, 但它的半衰期短(138.4天), 使用受到限制;至于 ${}^{239}\text{Pu}$ , 半衰期又太长( $2.44 \times 10^4$ 年), 而且此源也不易作衰变修正。近来应用 ${}^{241}\text{Am}$ 做 $\alpha$ 发射体, 它的半衰期是433年, 比较适中, 子核寿命很长( ${}^{237}\text{Np}$ 半衰期是 $2.14 \times 10^6$ 年)。因而 ${}^{241}\text{Am}-\alpha-{}^9\text{Be}$ 源具有体积小, 保存使用方便, 可作简单衰变修正等许多优点, 使得它作为标准中子源, 在刻度中子探测器和剂量仪表中得到广泛的应用<sup>[1,2]</sup>。

铍-铀源中子能谱的研究, 在实验方面, 使用过不同的探测器作了许多测量, 例如有原子核乳胶方法<sup>[3]</sup>、反冲质子谱仪<sup>[4]</sup>、双晶体飞行时间方法<sup>[2]</sup>等等。但这些测量结果在能谱的细致结构和低能部分(2 MeV以下)还存在着差异。在理论计算方面, 虽然不断的完善, 但在能谱的低能部分和实验符合得还很差。故铍-铀源中子能谱仍然是有兴趣的研究课题之一。

最近我国生产 ${}^{241}\text{Am}-\alpha-{}^9\text{Be}$ 中子源, 我们使用反冲质子谱仪测量了此源的中子能谱。

### 实 验

1. 反冲质子谱仪(茛晶体闪烁谱仪) 近年来反冲质子谱仪由于实验技术的提高, 尤其是 $n-\gamma$ 动态范围的扩大, 数据分析处理的改进以及应用计算机在线进行数据处理和获取, 使得它已成为实验室中简便、可靠、常规的中子能谱仪<sup>[5]</sup>。

中子探测器是 $\phi 40 \times 53$  mm 茛晶体耦合到56 AVP光电倍加管组成。光电倍加管的分压电阻, 引出线路和射极跟随器如图1所示。从 $d_{12}$ 打拿极引出线性信号, 经射极跟随器、放大器送入数字模拟变换器, 由计算机分析处理。从 $d_{13}$ 打拿极引出 $n-\gamma$ 信号, 经射极跟随器, 送入上升时间幅度变换器, 经过单道分析器选出中子信号作为数字模拟变换器的门控信号。实验测量时, 使用的电子学仪器方块图表示在图2中。

为了保证谱仪在所测中子能量范围内的线性, 测量了 $\text{T}(d, n)$ 反应产生的14.7 MeV中子和 ${}^{241}\text{Am}$ ,  ${}^{137}\text{Cs}$ ,  ${}^{54}\text{Mn}$ ,  ${}^{65}\text{Zn}$ ,  ${}^{22}\text{Na}$ ,  ${}^{24}\text{Na}$ 的 $\gamma$ 射线在茛晶体中所产生的脉冲幅变, 结果表明它们与相应的电子能量是线性的。

专门刻度了茛晶体对低能中子的光响应, 以便较准确地测量2 MeV以下的中子能谱。此实验是在静电加速器上利用 $\text{T}(p, n)$ 反应产生的中子进行的。测定的结果列于表1。

利用上升时间幅度变换器, 来分辨中子和 $\gamma$ 射线<sup>[6]</sup>。适当变换光电倍加管的高压, 并仔细调节上升时间幅度变换器, 得到了良好的 $n-\gamma$ 分辨动态范围(250:1), 同时利用二维多道分析器, 反复观察了 $n-\gamma$ 分辨状况及其对中子探测效率的影响。测定结果表明, 在所测量的范围内(0.5 MeV—13 MeV),  $n-\gamma$ 分辨对探测中子效率无影响。

表 1 低能中子(质子)在苯晶体中相应于电子光响应

粒子能量, MeV	0.2	0.352	0.576	0.997	1.509
质子相应于电子的能量, MeV	$0.011 \pm 0.001$	$0.0256 \pm 0.002$	$0.0515 \pm 0.003$	$0.134 \pm 0.008$	$2.66 \pm 0.08$

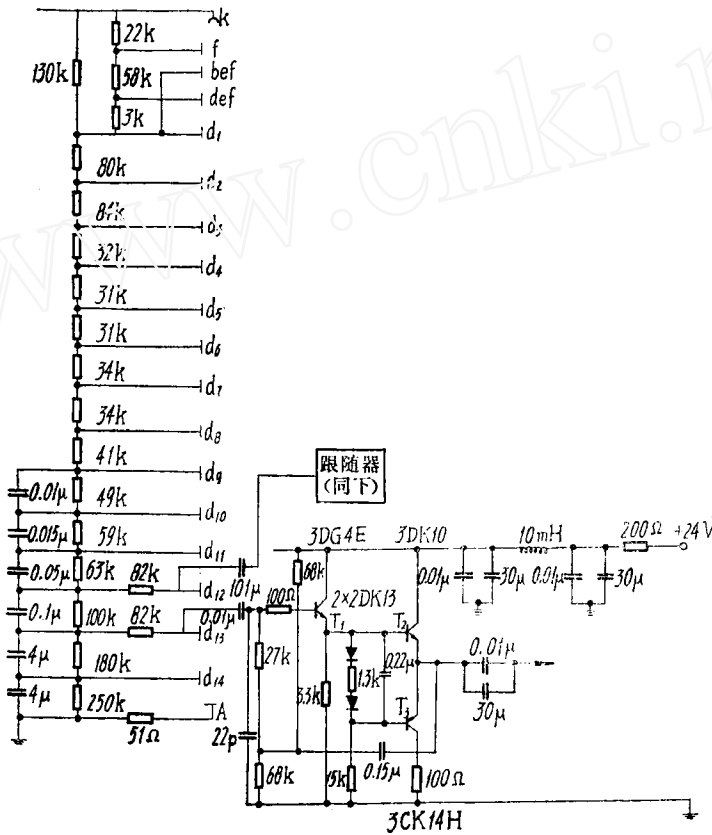


图 1 56 AVP 光电倍增管分压电阻及射极跟随器

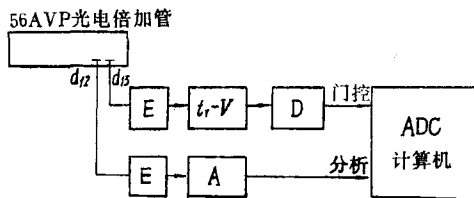


图 2 电子原线路方块图

E——射极跟随器;  $t_r-V$ ——上升时间幅度变换器;  
D——甄别器; A——放大器; ADC——数字-模拟变换器。

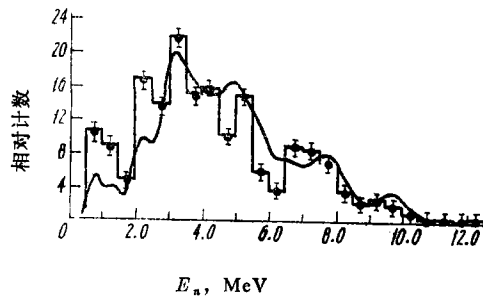


图 3 Am- $\alpha$ -Be 源中子能谱

●——本实验结果(误差为统计误差); 曲线为文献 [9] 的计算结果。

2. 实验安排 镅-铍源是由氧化镅粉末和金属铍粉均匀混合压制而成。测量时，中子源悬挂于 1.5 米高处，在周围 4 米范围内无散射物质，中子探测器放在距源 1 米处。为了测量本底，在中子探测器和源中间放一个由铁和石蜡组合的阴影锥。实验反复测量了挡锥和不挡锥的状况，最后扣除了本底中子。实验数据的获取和分析处理是使用计算机在线进行的<sup>[7]</sup>。最后得到了镅-铍源中子能谱如图 3。

### 结 果 讨 论

表 2 给出了我们实验得到的镅-铍源中子能谱各峰位的位置。为了比较，同时给出文献[3]和文献[8]的结果，并引用了文献[9]对 20 μ 颗粒大小的 Am-Be<sub>13</sub> 合金源计算的结果。

表 2 镅-铍源中子能谱的峰位

文 献	峰 位, MeV										
[3]	0.87	1.37	2.12	3.37	3.87	4.37	5.12	6.62	7.89	9.37	9.87
[8]				3.4	4.1		4.8	5.5	6.3	7.5	9.6
本工作	0.75		2.25	3.25	4.25		5.25	6.75			9.25
[9]	0.75	1.2	2.11	3.15			4.95	6.5			9.65

从表 2 可以看出，考虑到实验工作的各家应用不同的探测器以及它们不同的分辨率，中子能谱的峰位符合得比较好。而文献[9]计算中子谱时并未考虑到  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^8\text{Be}$  反应道和种种次级相互作用，但从表 2 看出和实验结果符合得仍较好，说明这些效应对峰位的影响甚微。

图 3 中的实线是文献[9]对 20 μ 颗粒大小的 Am-Be<sub>13</sub> 合金中子源计算的结果并在 6.5~9.0 MeV 能区与我们实验结果归一。从图 3 看出，计算的中子谱形大体和实验结果相当，但在低能部分，中子数目较实验测量结果少得多。文献[3]也计算了中子谱，而且考虑了文献[9]中所没有包括的  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^8\text{Be}$  反应道和种种次级相互作用，虽然能谱低能部分中子数目有所增加，但仍然比实验结果低。而文献[3]本身所测量的结果，文献[10]的结果和我们的结果，在能谱的低能部分，都给出较丰富的中子。这可能一方面理论计算都未涉及到 α 粒子在 α 发射体中的能量自吸收，在铍粉中能量损耗以及 α 粒子的弹性散射和中子源介质的不均匀性所致；另一方面， ${}^{241}\text{Am}-\alpha-{}^9\text{Be}$  源，尤其是粉末混合压制源，由于制作时颗粒大小不一，混合并非很均匀，故可能造成各家实验结果有差异以及与理论计算结果在低能部分存在差别。

### 参 考 文 献

- [1] K. W. Geiger et al., *Nucl. Phys.*, 53, 204 (1964).
- [2] J. E. Lutkin et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 107, 165 (1973).
- [3] A. D. Vijaya et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 111, 435 (1973).
- [4] F. Deguarrint et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 92, 277 (1971).
- [5] 快中子能谱组, 原子能科学技术, 3, 199 (1975).
- [6] 孙奉先等, 原子能科学技术, 2, 133 (1977).
- [7] 张其欣等, 反冲质子谱仪数据处理程序, 内部资料, 1978.
- [8] S. Notarrigo et al., *Nucl. Phys.*, A125, 28 (1969).
- [9] L. Van der Zwan, *Can. J. Phys.*, 46, 1527 (1968).
- [10] H. Zill, *Z. Naturforsch.*, 24a, 1287 (1969).

(编辑部收到日期: 1980 年 10 月 28 日)