

SOLUTION OF POINT REACTOR KINETIC EQUATIONS BY USE OF LAGUERRE POLYNOMIALS

SUO CHANGAN LIU XIAOMING

(Institute of Atomic Energy, P.O. Box 275, Beijing)

ABSTRACT

Point reactor kinetic equations with six groups of delayed neutrons are solved by use of the expansion of neutron population density and delayed neutron precursors in forms of Laguerre Polynomials. The reactivity insertion into reactor is permitted to vary in time such as from zero to second powers. Under the condition of constant reactivity insertion, the derived coefficient determinant with a tri-angle form is convenient to be solved. For the reactivity insertion varied in time, the forward-backward formula are derived so as to save calculation time in the higher order approximations. At last, the comparisons of results with those of the exact method as well as weighted residue method are shown to be satisfactory.

Key words Laguerre polynomials, Point reactor, kinetic equations, The forward-backward formula.

γ 伴随飞行时间法对 Am-Be 中子源的局部中子能谱的测量

陈金象 唐国有 包尚联 仲文光 施兆民

(北京大学技术物理系)

关键词 Am-Be 中子源, 4.439MeV γ 射线, γ 伴随飞行时间法, 局部中子能谱。

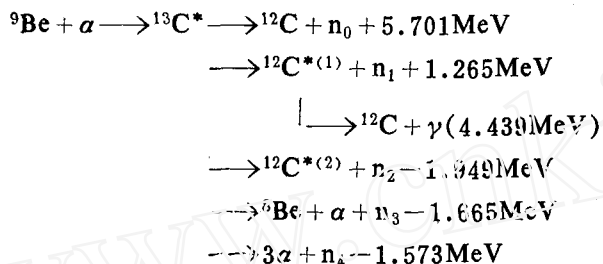
一、前言

Am-Be 中子源能谱的研究, 已有不少实验室采用不同的方法进行了测量。但迄今为止, 在能谱的细致结构和小于 2MeV 的低能部分, 仍存在着差异。甚至用同一方法所测量的数据也存在着明显的分歧。例如: 1976 年 G. Shani 等人^[1]和 1964 年 K. W. Geiger 等人^[2]均采用 γ 射线伴随飞行时间法, 测量了 Am-Be 源的局部中子能谱, 不仅两家的测量结果之间存在较大差异, 而且各自的结果与理论计算符合得也很差。为此, 我们对国产的封闭式 Am-Be 中子源能谱进行测量, 以期探讨产生这些分歧的原因。

本工作的另一目的，是利用测量小型同位素中子源能谱来建立和调整中子飞行时间谱仪。

二、测量的基本原理

$^{241}\text{Am}-\text{Be}(\alpha, n)$ 中子源产生中子的核反应式如下^[3]：



可见中子源发出的中子，主要是由前三群 n_0 、 n_1 和 n_2 中子以及多体裂变反应产生的 n_3 和 n_4 群中子组成。由于 ^{12}C 第一激发态寿命为 6.1×10^{-14} 秒^[4]，因而完全可以认为 4.439MeV 的 γ 射线和 n_1 群中子是同时发射的，那么用 4.439MeV γ 射线伴随作中子飞行时间测量，就可以测量出 n_1 群中子能谱。

三、测量方法

实验装置见图 1。 γ 探测器采用 $\phi 50\text{mm}$ ，厚度为 20 mm 的 ST401 型塑料闪烁体，连接 GDB50L 快速光电倍增管。中子探测器是由一个 $\phi 104\text{mm}$ ，厚度为 50mm 的 ST 451 型液体闪烁体和一个 EMI9823KB 快速光电倍增管组成。 $\text{Am}-\text{Be}$ 中子源是由中国原子能科学研究院提供的封闭源。源的活性区形式为压片，源壳为不锈钢三层封装，外形尺寸为 $\phi 30 \times 30\text{mm}$ 。强度为 $1.21 \times 10^6(1 \pm 10\%)$ 中子/秒。

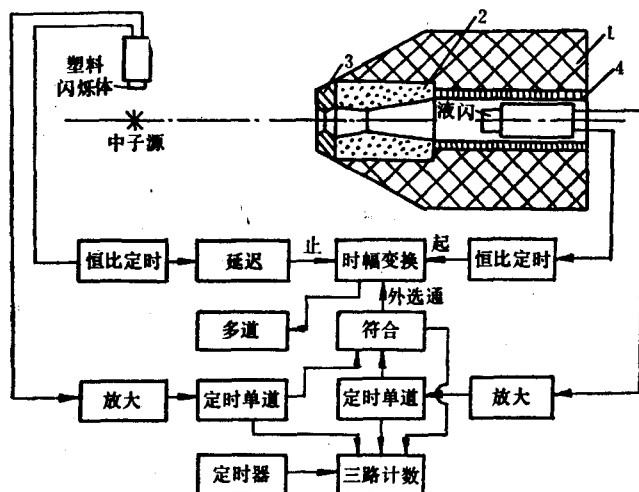


图 1 实验装置示意图

1——石蜡；2——石蜡加碳酸锂；3——铁；4——铅。

探测器及中子源的相对几何位置如图 1 所示，中子源悬挂于离地面 1.5 米处，中子探测器置于由石蜡、碳酸锂、铁和铅组成的一个双锥屏蔽准直系统中，源中子的飞行距离为

1 米。 γ 探测器和中子探测器的中心轴线互相垂直，且与中子源处于同一水平面上， γ 探测器离中子源 6cm，其目的是使在 γ 探测器上散射的中子不能直接进入中子探测器，尽量减少散射中子对源中子能谱的影响。

在慢通道(能量通道) γ 路甄别下阈由 ^{137}Cs 刻度，并保证探测到 4.439MeV γ 射线；中子路加以能量窗选择，探测下阈为 0.8MeV，上阈切去约大于 8MeV 能量的中子。利用 $10\mu\text{Ci}$ 的 ^{60}Co 源校准了中子飞行的距离。

图 2 所示为我们测量得到的中子飞行时间谱。

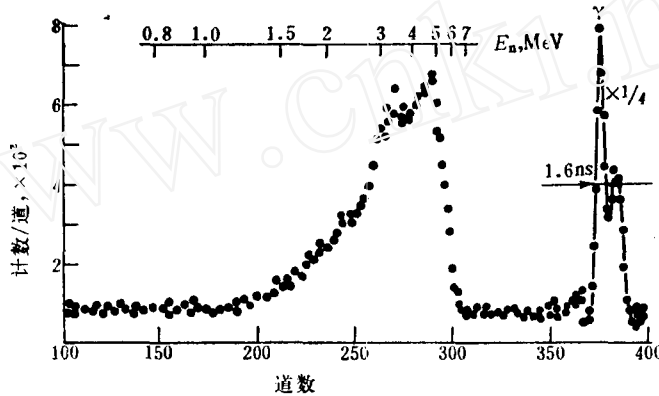


图 2 Am-Be 源局部中子飞行时间谱

中子探测器阈 0.8MeV；飞行距离 1.0 米；道宽 0.335MeV；计数累积时间 24 小时。

图中时间零点附近出现两个峰，低道址的峰是 γ 散射峰，其半宽度可确定谱仪的时间分辨是 1.6ns。高道址的峰是由于中子探测器记录了 γ 射线，而 γ 探测器记录了相关联的中子而引起的。加大 γ 探测器离源的距离，就可以发现两峰相对间隔增大。

在中子探测器和中子源之间，放置 45 厘米长的铜锥，对散射本底进行了测量。将测量的时间谱扣除偶然符合的随机本底和散射本底；在能量为 2.5MeV 以上取能量全分辨率的一半作能量间隔，在 2.5MeV 以下取能量全分辨率作能量间隔，将间隔内的净效应的计数相加，然后采用 0.8MeV 中子能阈的探测器效率响应数据进行转换。该效率响应数据是原子能科学研究院沈冠仁、孟江辰同志提供的。

四、结果和讨论

转换后的中子谱如图 3 所示。我们测量得到的 n_1 群中子能谱分布在 1.3—6.4MeV 之间。能谱出现三个峰，其能量分别为 $2.2 \pm 0.1\text{MeV}$ ， $3.2 \pm 0.1\text{MeV}$ 及 $4.4 \pm 0.1\text{MeV}$ 。能谱的测量误差包括了计数统计误差、时间分辨以及探测器效率而引起的误差。

我们的结果与其它工作的比较见图 4。我们测量所得能谱上限与 F. Deguarrini^[5] 及 A. D. Vijaya^[6] 理论计算的结果很好符合，与 G. Shani^[1] 的测量数据也基本一致。但 K. W. Geiger^[2] 所测得的能谱上限为 7.8 MeV，显然它大于由核反应运动学所决定的 n_1 群中子的能谱上限 6.4 MeV，所以是不合理的。

对于中子能谱的低能端，我们的测量表明，在 1.3MeV 以下已无发射 n_1 群中子的迹象。这一现象与 K. W. Geiger^[2] 的测量结果完全一致。但和 G. Shani^[1] 的测量结果是有分歧的。他们的数据表明，不仅 1.5MeV 以下的中子强度显著增加，而且在 0.8—0.9MeV 处有明显的峰结构，作者认为这是由多体碎裂过程引起的。据 E. W. Less^[4] 指出， $^9\text{Be}(\alpha, \alpha')$

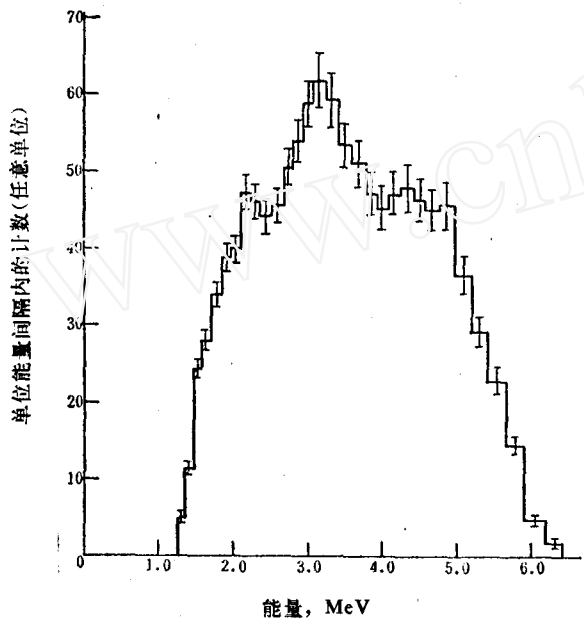


图 3 Am-Be 源局部中子能谱

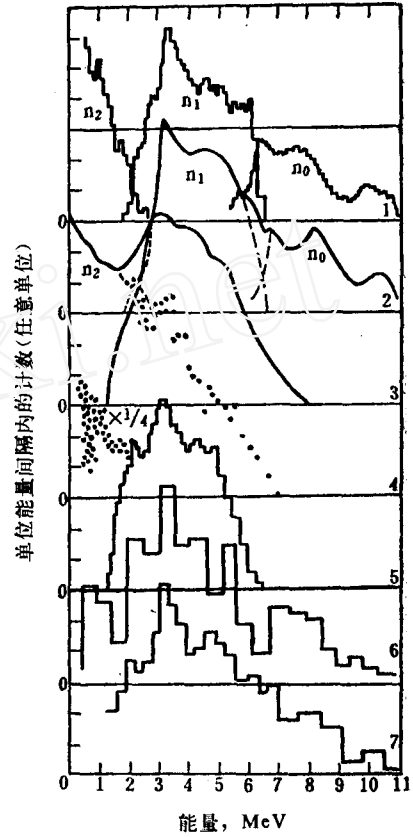


图 4 Am-Be 源局部中子能谱测量结果与其它工作的比较

1—F. Deguarrini 计算； 2—A. D. Vijaya 计算； 3—K. W. Geiger 测量； 4—G. Shani 测量； 5—本测量结果； 6—张应等人测量； 7—李安利等人测量

反应的激发态几乎完全以中子发射，给出 ${}^9\text{Be}(\alpha, \alpha'n)$ ，而没有观察到 γ 射线。G. Venkatraman^[7]也指出，由 ${}^9\text{Be}(\alpha, \alpha'n)$ 这种多体剂裂反应得到的 α 粒子能量太低，对中子或 γ 产额贡献很小。根据我们的实验结果，我们认为 G. Shani^[11] 利用 4.439 MeV γ 伴随飞行时间法来测量中子能谱，显然测出的主要是 n_1 群中子。G. Shani 的测量结果中 1.5 MeV 以下的中子强度显著增加的现象是值得怀疑的。

由图 4 可以看出，在低能部分(3 MeV 以下)，我们的测量数据同各家实验测量结果一致，再一次证实：理论计算的中子谱在低能部分，中子数目较测量结果偏低。计算者 A. D. Vijaya^[6]也曾发现这一问题，认为源的大小及铍粉的密度对低能端谱形有影响，有必要改进初级谱计算中的某些因素。

A. L. Edgar^[8]认为，源内介质颗粒大小对中子产额的影响远比对中子能谱影响大，能谱中约 5 MeV 和 3.3 MeV 两峰的峰计数比值与介质颗粒大小有关。据此，他把这个比值作为他们实验室制备的 Am-Be 源的一个特征标志。我们将测量数据与张应^[9]和李安利^[10]等人所测 Am-Be 中子源总谱进行了比较(见图 4)，不仅在峰位上而且在两峰的相对高度上均符合较好。显然，A. L. Edgar 的论点也被我们的测量所证实。

通过对 Am-Be 中子源能谱的测量和结果的分析, 考验了我们已建立的 γ 伴随中子飞行时间谱仪。同时我们也认识到, Am-Be 中子源中子能谱的细致结构与中子源的制作工艺和物理状态有关。因此当采用一个具体的 Am-Be 中子源作为标准时, 最好先用可靠的谱仪测量出拟作为标准的中子能谱。

感谢原子能科学研究所的沈冠仁、孟江辰等同志提供的中子探测器效率数据、北京核仪器厂的徐德琪同志测量光电倍增管参数、和李英才同志为我们制作快射极跟随器。

参 考 文 献

- [1] Shani, G. et al., INIS-mf-3663, 80(1976).
- [2] Geiger, K.W. et al., *Nucl.Phys.*, **53**, 204(1964).
- [3] Ajzenberg-Selove, F. et al., *Nucl.Phys.*, **A268**, 1(1976).
- [4] Lees, E.W. et al., AERE-R2891, 2(1977).
- [5] Deguarrini, F. et al., *Nucl.Instrum.Methods*, **92**, 277(1971).
- [6] Vijaya, A.D. et al., *Nucl.Instrum.Methods*, **111**, 435(1973).
- [7] Venkataraman, G. et al., *Nucl.Instrum.Methods*, **82**, 49(1970).
- [8] Edgar, A.L., *Int.J.Appl.Radiat.Isot.*, **24**, 588(1973).
- [9] 张应等, 原子能科学技术, (2), 139(1982)。
- [10] 李安利等, 原子核物理, 4(2), 145(1982)。

(编辑部收到日期: 1984年2月21日)

THE MEASUREMENT OF THE PARTIAL NEUTRON ENERGY SPECTRA OF Am-Be SOURCE BY γ RAY ASSOCIATED TOF TECHNIQUE

CHEN JINXIANG TANG GUOYOU BAO SHANLIAN
ZHONG WENGUANG SHI ZHAOMING

(Department of Technical Physics, Beijing University, Beijing)

ABSTRACT

The partial neutron spectrum of Am-Be source for transitions to the 4.43 MeV state of ^{12}C is measured by the associated γ ray TOF technique. The energy range 1.3—6.4 MeV is obtained. Three peaks of neutron energies of 2.2 ± 0.1 , 3.2 ± 0.1 and 4.4 ± 0.1 MeV are observed. Our results are also compared with those of other authors.

Key words Am-Be neutron source, 4.439 MeV γ ray, γ ray associated TOF spectrometer, Partial neutron energy spectrum.