

14MeV 中子引起的 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应的机制

王保安 冯嘉祯 刘兆远 杨化中 姚立山
(兰州大学)

摘 要

在 0° 、 30° 、 60° 、 120° 、 150° 和 180° 六个角度上测得了 14MeV 中子引起的 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应的 α 粒子能谱, 给出了角分布. 得出这一反应的主要机制是复合核前发射.

一、引 言

近年来, 快中子引起的 (n, α) 反应的机制引起关注^[1-6]. 系统地分析 14MeV 中子在不同靶核上引起 (n, α) 反应的截面值、 α 粒子能谱和角分布可知, 对于较轻的靶核, 反应的主要机制是形成复合核; 对于较重的靶核, 复合核理论与实验结果偏差很大^[7, 8].

在上述二者之间, 应存在一个过渡区域, 那里有可能观察到几种反应机制的竞争. 因此, 当入射中子能量为 14MeV 时, 以 ^{141}Pr 和比其轻一些的核做靶, 研究 (n, α) 反应将是有益的.

系统地研究 (n, α) 反应, 还可以得到关于原子核内存在 α 集团的信息^[9].

P. Kulisic 等人^[10]和 H. Kitozawa^[11]曾研究过 14MeV 中子引起的 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应. 测得的结果与复合核理论不符. 这些作者们认为, 在这一反应中, 有某种直接过程在起作用.

本文较为详细地研究了这一反应的机制.

二、实验测量

实验布局如图 1.

中子源: 为兰州大学 300kV 中子发生器在与氘束成 90° 方向上引出中子, $E_n = 14.1\text{MeV}$.

测量装置: 采用 GM-12 型金硅面垒型半导体探测器进行能谱测量. 为了得到足够

厚的耗尽层,探测器的偏压选取 250V。探测器产生的脉冲经前放、主放大后,由 400 道脉冲幅度分析器进行幅度分析。

反应室:由铝制成的反应室。中子源到靶的距离为 30 厘米,靶距探测器 2.5 厘米。整个反应室可以绕一固定轴线转动,靶片位于轴线上。在不同角度上的能谱测量中,探测器始终保持与靶片平行,以减小出射 α 粒子在靶层内能损的修正。为了减小高能端的本底,靶的衬底及探测器支架均采用铝材。

中子通量监督:用质子望远镜进行中子通量的测量。采用两种方法对中子通量进行相对监督。一是以面垒型探测器为探测元件组成监督系统(图 1);二是用能谱测量中 $^{28}\text{Si}(n, \alpha)^{25}\text{Mg}$ 反应的峰面积归一。

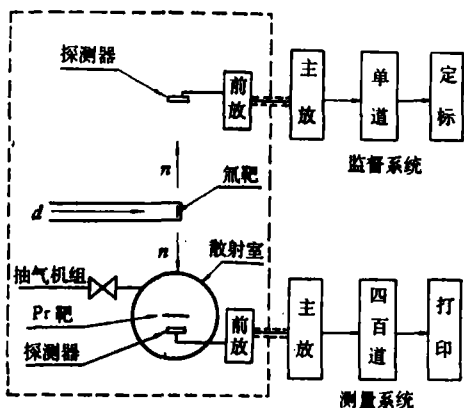


图 1 实验布局图

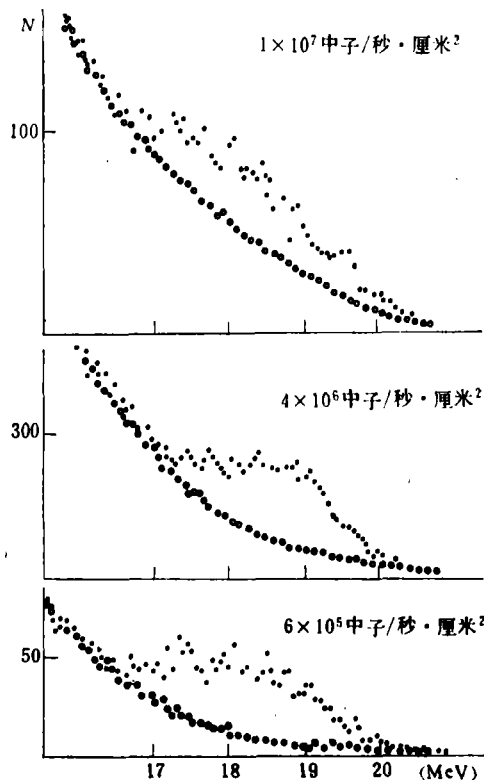


图 2 中子通量不同时,本底计数的相对贡献
·——本底+效应; ○——本底

能量标定:用 $\text{Thc}(6.05\text{MeV})$, $\text{Thc}'(8.78\text{MeV})$ 和 $^{28}\text{Si}(n, \alpha)^{25}\text{Mg}$, $^{29}\text{Si}(n, \alpha)^{26}\text{Mg}$ 反应中相应于余核处于基态的 α 粒子对探测系统进行能量标定。

靶的制备:将 99.9% 的 Pr 氧化物研细,在去离子水中悬浮后,沉积在 99.99% 的铝衬底上,烘干。氧化镧层厚为 3 毫克/厘米²,衬底厚 0.1 毫米。

本底:用无氧化镧涂层的靶衬底代替靶片,在其它条件不变的情况下,测得本底计数。本底计数时间由监督系统控制,保持监督系统的累计计数与有样品时的累计计数相同。入射中子在反应室、靶衬底、支架等周围物质及探测器上可以引起 (n, p) , (n, d) , $(n, ^3\text{He})$ 及 (n, α) 反应。这些反应生成的带电粒子能量较低,可以较容易地与 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应生成的 α 粒子分开。但这些低能脉冲的叠加则可以在高能端产生本底计数。为了减小这种叠加造成的本底,主放大器的微分、积分时间常数均取 0.1 微秒。并且控制中子发生器的产额为 5×10^{10} 中子/秒。在不同的中子通量下测得的本底+效应及本底谱(0° 角)绘于图 2。从图中可以看到,打到探测器上的中子通量越小,本底的相对影响

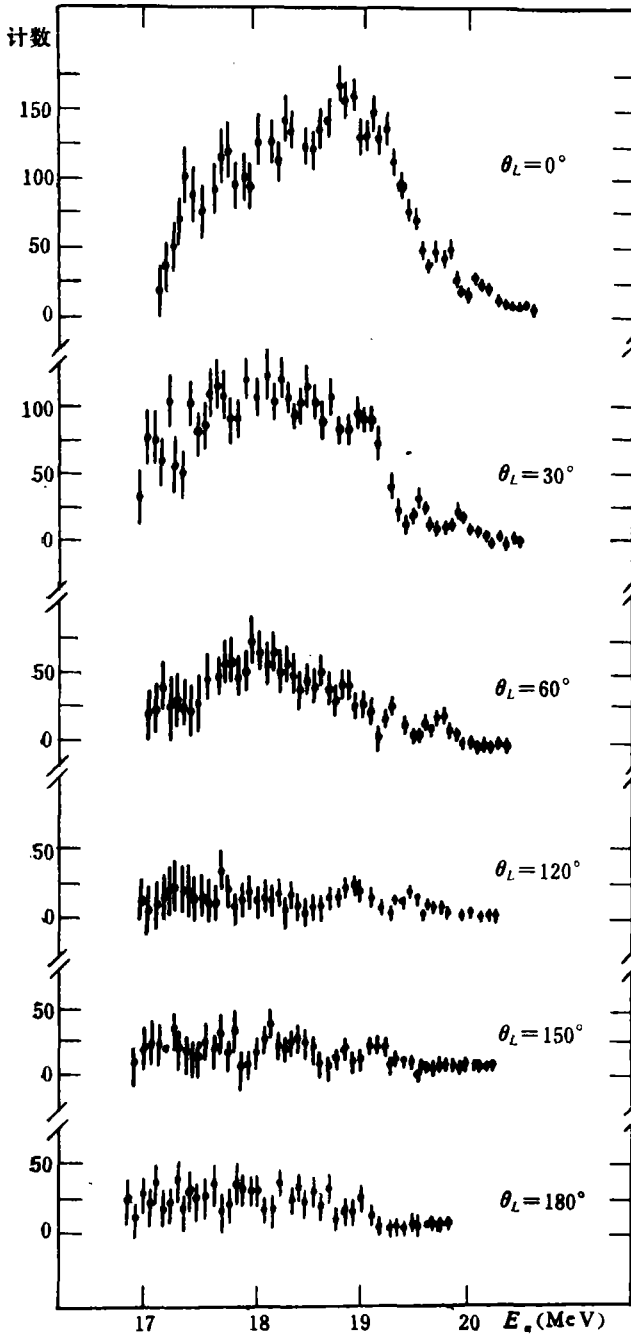


图3 不同角度上的α粒子能谱

$$\frac{d\sigma(n, \alpha)}{d\varepsilon_\alpha} = f\sigma_c \frac{\mu_\alpha \sigma_{inv}(\varepsilon_\alpha) \cdot \varepsilon_\alpha}{2\pi^3 \hbar^2 |M|^2} \cdot \frac{g_R(2S+1)}{g^2 E^3} \times \sum_{\substack{n=n_1 \\ \Delta n = -2}}^n \left(\frac{g_R U}{g_c E}\right)^{n-2} (n+1)(n^2-1), \quad (1)$$

其中各符号的意义与文献[6]同。

也越小,特别是在谱的低能端.为了得到足够好的计数统计,又不使谱形发生显著畸变,我们在实验中选择打在探测器上的中子通量为 4×10^6 中子/秒·厘米²,在这样的通量下,测得的本底+效应,本底及扣除本底谱(0°角)见图2.

误差: 只计及了统计误差.

三、结果与讨论

在与入射中子束成 0°、30°、60°、120°、150°和 180° 六个角度上(实验室系),测得了反应生成的α粒子能谱(图3).从图中可以看出,各角度上的能谱的主要部分是一个连续谱,在此连续谱上又明显地叠加着一些结构.

1. 预平衡发射的贡献 目前,预平衡发射的理论^[11-13]已成功地用来解释实验结果.在(n, α)反应的情况下,可以认为,在靶核内有四个核子预先形成一个类似α粒子的集团.这种α集团(或α空穴)被看成与中子、质子一样,成为激子.它的能级密度为单粒子能级密度的1/4.根据这种预平衡发射模型,可以得到(n, α)反应中出射α粒子的能谱^[6]

在计算中,我们取 $n_i = 3$; $g_R = g_\alpha$. 根据文献 [14] 求得逆截面 $\sigma_{inv}(\epsilon_\alpha)$ 值. 公式 (1) 中, α 集团形成几率 f 及组成合成核的截面 σ_c 与靶核的性质及入射中子能量有关. 对于确定的靶核及确定的人射中子能量, 它们是定值. 核内二体作用矩阵元平方的平均值 $|\overline{M}|^2$ 为常数. 我们只比较了能谱的形状, 而非截面的绝对值, 因此, 在计算中将 f, σ_c 及 $|\overline{M}|^2$ 均纳入归一化常数之中.

由于实验数据的局限, 未求得全空间积分谱, 计算的能谱形状与测得的 60° 角上能谱比较绘于图 4. 从图 4 中亦可看出, 在 14MeV 中子引起的 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应中, 预平衡发射的贡献是主要的.

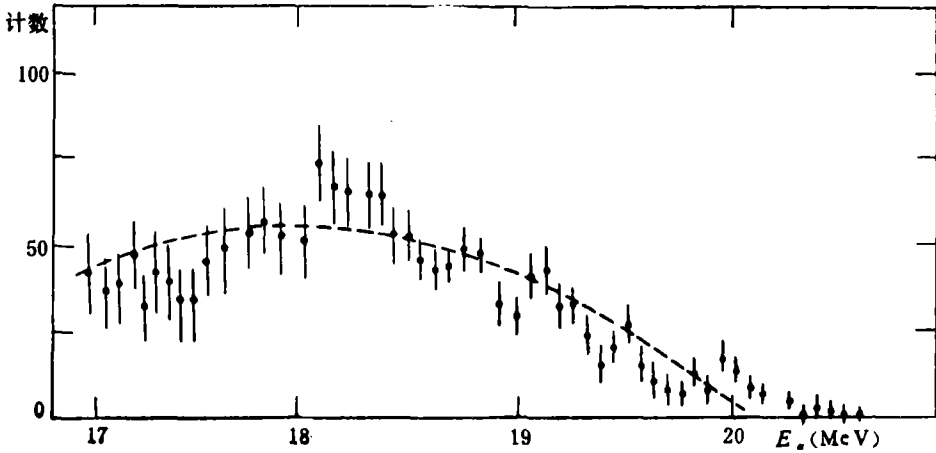


图 4 根据公式 (1) 计算的能谱形状(虚线)与 60° 角上 α 粒子谱的比较

2. 敲出反应的贡献 14MeV 中子轰击靶核, 引起 (n, α) 反应, 可以不经形成激子数 $n = 3$ 的复合系统, 而是直接与靶核表面层中的一个 α 集团发生作用, 把大部能量传递给这个 α 集团, 使其出射, 生成一个激子数 $n = 2$ 的余核, 即一个中子和一个 α 空穴. 敲出反应的贡献都集中在小角度上. 随出射角的增大, 敲出反应的贡献很快趋于零. 为了研究敲出反应的贡献, 测得不同角度上的能谱是很有意义的. 比较图 3 中不同出射角的能谱可以看出, 在 α 粒子能量为 19MeV 附近, 在 0° 角的能谱中, 存在明显的峰. 这部分贡献随出射角增大很快下降, 在 30° 的能谱中它的贡献显著降低, 而在 60° 角的能谱中, 它已不再显现. 这说明, 直接敲出反应机制对于 14MeV 中子引起的 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应有明显的贡献.

3. 角分布 将不同角度上的 α 粒子能谱积分, 取积分下限为 17MeV, 得到能量高于 17MeV 的 α 粒子的角分布, 绘于图 5. 从图 5 可见, 角分布表现为明显的前冲. 这说明, 这一

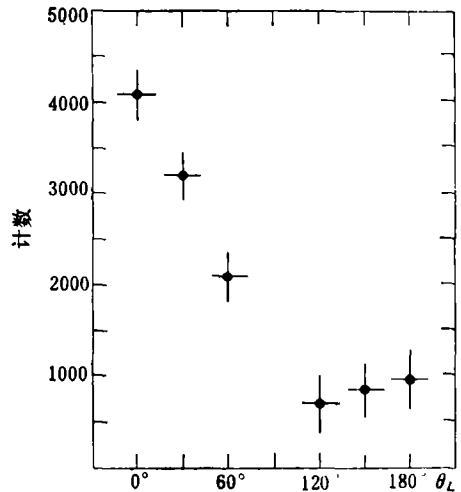


图 5 17MeV α 粒子的角分布

反应的主要机制不是复合核反应。

综上所述, 14MeV 中子引起的 $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ 反应的主要机制是复合核前发射, 其中包括直接敲出反应的贡献。

4. α 粒子出射角与平均反应时间 分析图 3 中的能谱可知, 能谱的形状和极大值处的能量均随出射角而改变。能谱中高能成分的相对贡献随出射角增大而减小, 低能成分的相对贡献增加。这说明, 在趋向平衡的进程中, 小角度发射 α 粒子平均地先于大角度发射。

在完成实验测量中得到加速器教研室全体同志和电子学教研室谢成福、章登植等同志的大力协助, 我们表示衷心感谢。

感谢徐躬耦教授、王永昌副教授审阅了文稿并提出有益的见教。

参 考 文 献

- [1] L. Milazzo-Colli, G. M. Braga-Marcuzzan, M. Milazzo and C. Signorini, *Nucl. Phys.*, **A218**(1974), 274.
- [2] W. Scobel, M. Blann and A. Mignerey, *Nucl. Phys.*, **A287**(1977), 301.
- [3] L. Glowacka, M. Jaskola, J. Turkiewicz, L. Zemlo, M. Kozlowski and W. Osakiewicz, *Nucl. Phys.*, **A262**(1976), 205.
- [4] В. Аугустыняк, Л. Гловацка, Л. Зэмло, М. Козловски, Я. Трукевич и М. Яскула, *Изв. АН СССР сер. физ.*, **41** (1977), 2202.
- [5] M. Morike, G. Staudt and F. Weng, *Z. Physik*, **A287**(1978), 211.
- [6] L. Milazzo-Colli and G. M. Braga-Marcuzzan, *Phys. Lett.*, **38B**(1972), 155.
- [7] E. Saetta-Menichella, F. Tonolini and L. Tonolini-Severgnini, *Nucl. Phys.*, **51**(1964), 449.
- [8] U. Facchini, E. Saetta-Menichella, F. Tonolini and L. Tonolini-Severgnini, *Nucl. Phys.*, **51**(1964), 460.
- [9] R. Bonetti and L. Milazzo-Colli, *Phys. Lett.*, **49B**(1974), 17.
- [10] P. Kulisic, V. Ajdacic, N. Cindro, B. Lalovic and P. Strohal, *Nucl. Phys.*, **54**(1964), 17; **73**(1965), 548.
- [11] H. Kitazawa, *Nucl. Phys.*, **A149**(1970), 513.
- [12] J. J. Griffin, *Phys. Rev. Lett.*, **17**(1966), 478.
- [13] 徐躬耦, 兰州大学学报(自然科学版), 1978年第2期第41页。
- [14] J. R. Huizenga and G. Igo, *Nucl. Phys.*, **29**(1962), 462.

THE MECHANISM OF THE REACTION $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ AT $E_n = 14 \text{ MeV}$

WANG BAO-AN FENG JIA-ZHEN LIU ZHAO-YUAN

YANG HUA-ZHONG YAO LI-SHAN

(Lanzhou University)

ABSTRACT

The energy spectra of the alpha particles from the reaction $^{141}\text{Pr}(n, \alpha)^{138}\text{La}$ at 0° , 30° , 60° , 120° , 150° and 180° are measured and the angular distributions of the alpha particles are given. It shows that the predominant mechanism of the reaction at $E_n = 14 \text{ MeV}$ is precompound emission.