

关于 $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$ 反应的三体出射道的研究

孔祥傲 李盘林

(中国科学院上海原子核研究所, 201800)

J. J. Kolata J. Vega K. A. Kryger

(Department of Physics, University of Notre Dame, Notre Dame, IN46556, U. S. A.)

F. W. Prosser

(University of Kansas, Lawrence, KS66045, U. S. A.)

P. A. Deyoung

(Hope College, Holland, MI49423, U. S. A.)

摘 要

我们用两个带电粒子符合方法研究了能量为 56MeV 的 ^{16}O 轰击 ^{12}C 的三体反应出射道, 分别得到了两个不同的三体出射道: $\alpha_1 + \alpha_2 + ^{20}\text{Ne}$ 和 $p + \alpha + ^{23}\text{Na}$ 的反应 Q 值谱, 两道之间的比为 8:1, 同时得到了 $\alpha_1 + \alpha_2$ 两维符合事件的投影谱, 结果显示 $\alpha + ^{24}\text{Mg}$ 是 $\alpha_1 + \alpha_2 + ^{20}\text{Ne}$ 出射道的主要中间过程。

理论分析告诉我们, 两体的两步连续衰变与剥裂机制的统计计算相加, 满意地和实验能谱符合, 但是, 从运动学计算来说, $^8\text{Be}_{1st} + ^{20}\text{Ne}^*$, 然后 $^8\text{Be}_{1st} \rightarrow \alpha_1 + \alpha_2$ 的连续衰变机制也是不能完全排除的。

一、引 言

关于 $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$ 三体反应出射道的研究工作已有不少作者做过^[1,2], 然而, 他们主要的兴趣在于研究 ^{24}Mg 的准分子态结构, M. J. Levine 等人^[1]用 56MeV O 轰击 C 靶, 得到了剩余核 ^{20}Ne 的不同末态是: 基态、1.63MeV 和 4.25MeV + 4.93MeV (未分开), 且它们的分支比为 1:2.7:1.4. R. Wiland 等人^[2]指出, 58.3MeV 的 ^{16}O 轰击 ^{12}C 得到的 $\alpha_1 + \alpha_2 + ^{20}\text{Ne}$ 是 $^{16}\text{O} + ^{12}\text{C}$ 三体反应出射道的主要成分, 而 50% 的三重符合事件是来自多体衰变。

但是, 他们都未指出什么反应道是三体出射道的主要中间过程。

本文是研究 56MeV 的 ^{16}O 轰击 ^{12}C 三体反应出射道中的主要中间过程及其形成的可能机制。

二、实 验

用美国诺特丹姆大学 (University of Notre Dame) 物理系核结构实验室的 $2 \times 9.5\text{MeV}$ 的串级加速器提供的 ^{16}O 束轰击 ^{12}C 靶(约 $200\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的自持靶膜), 两个出射的带电粒子的符合是由两个用半导体面垒探测器组成的望远镜, $\Delta E_1(30\mu\text{m}) + \Delta E_2(300\mu\text{m}) + E$ (约 5mm) 置于束流的左边 15° 处; 另一探测器 $\Delta E_1(30\mu\text{m}) + \Delta E_2(300\mu\text{m}) + E$ (约 2mm) 置于束流的右边 15° 处来进行测量的, 且每个望远镜前面覆以 $30\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 Ta 片, 以阻止弹性散射重离子的进入。

三、实验结果

首先将 α -p 和 α - α 符合事件的实验反应 Q 值谱分别绘于图 1(a)、(b) 中: 结果表

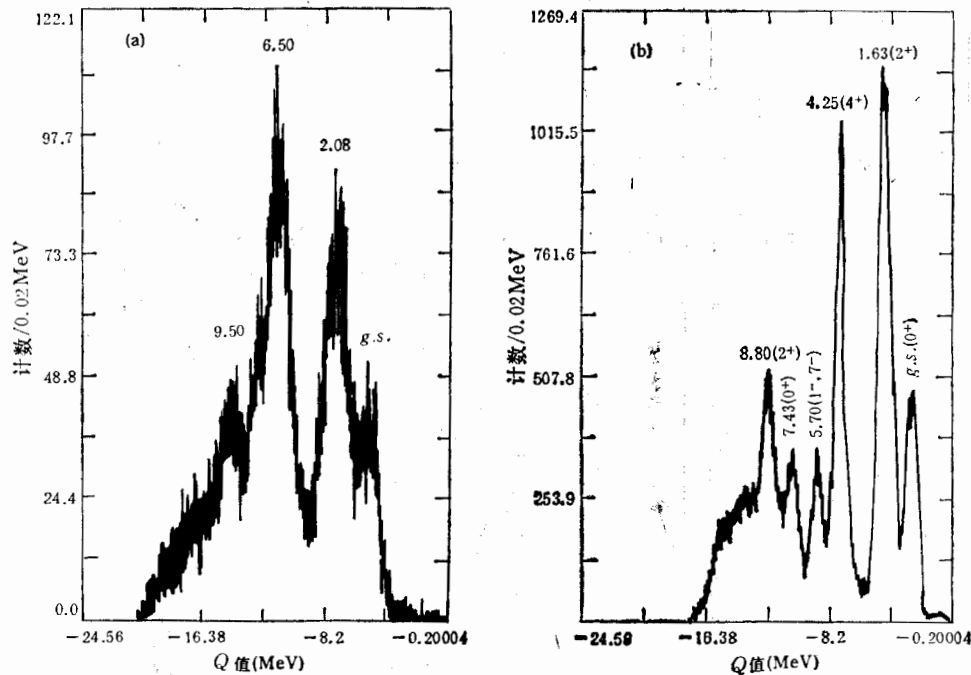


图 1 56MeV 的 ^{16}O 轰击 ^{12}C 的反应的三体出射道: $p + \alpha + ^{23}\text{Na}$ (a), 和 $\alpha_1 + \alpha_2 + ^{20}\text{Ne}$ (b) 的实验反应 Q 值谱。

明, 剩余核 ^{23}Na 的不同末态为: 基态、 2.08MeV 、 6.50MeV 和 9.50MeV , 它们的分支比是 $1:2.28:3.18:0.69$ 。这些值, 在前人的工作中未见报道过。而对于剩余核 ^{20}Ne 的不同末态为: 基态、 1.63MeV 、 4.25MeV (可能混有部分 4.93MeV)、 5.70MeV 、 7.43MeV 和 8.80MeV , 它们的分支比是 $1:2.90:2.0:0.47:0.37:0.64$; 头三个态的分支比基本上和 Levine 等人的结果相一致。Wiland 等人曾指出过, 他们没有观察到 ^{20}Ne 更高激发态的

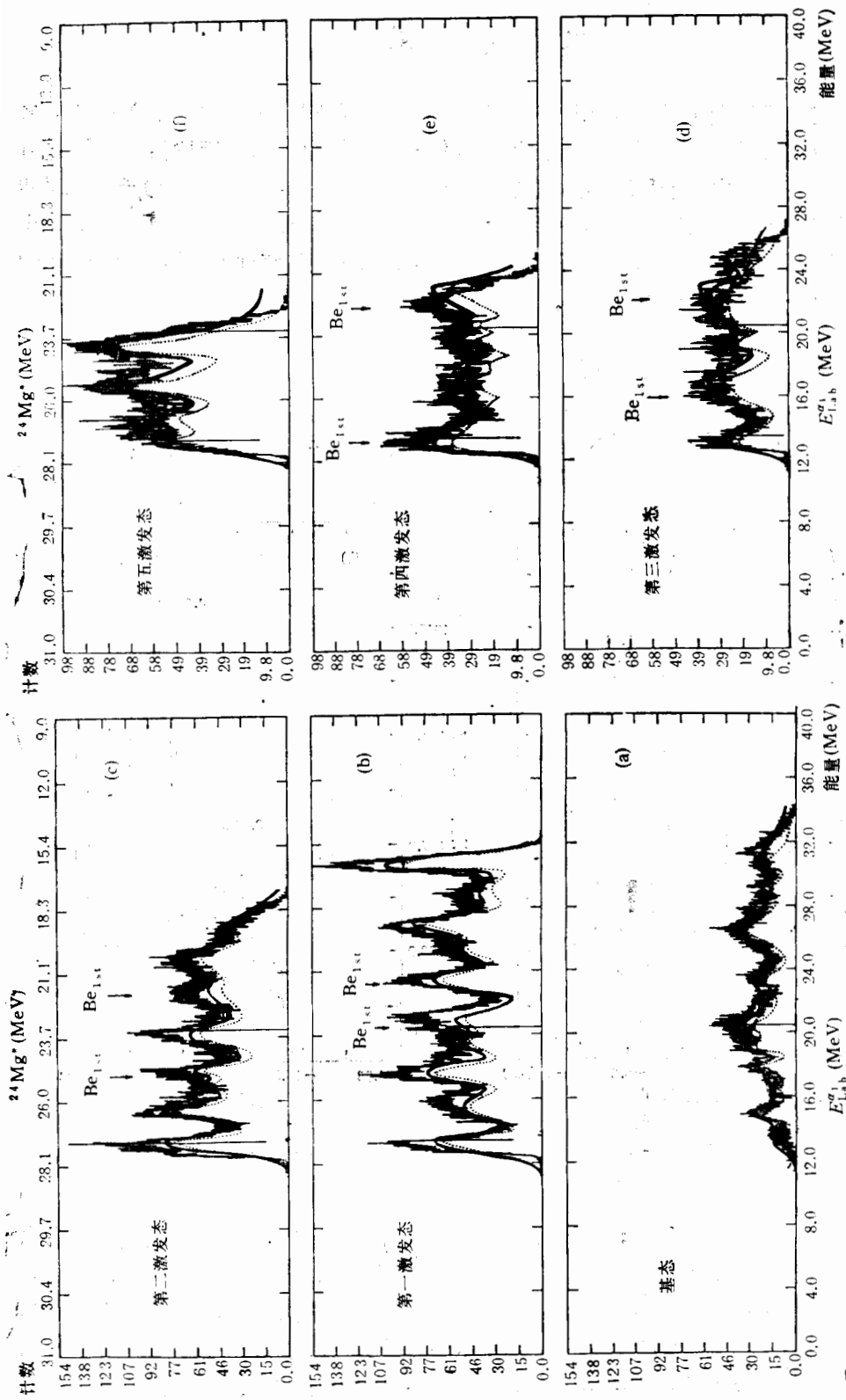


图2 相应的 α - α 符合事件的两维谱的投影谱,每一个投影谱相应于剩余核 ^{20}Ne 的一个末态:(a)基态、(b)1.63MeV、(c)4.25MeV、(d)5.70MeV、(e)7.43MeV、(f)8.80MeV.虚线是连续两步衰变机制的理论计算结果,实线则是连续两步衰变加剥裂机制的理论计算结果。

$$\frac{d^3\sigma}{dQ_1 dQ_2 dE_1} = p_1 p_2 \left(1 + \frac{m_3}{m_2} + p_1 \cos \Delta_{12} / p_2 - p_0 \cos \theta_2 / p_2 \right)^{-1} |A_T|^2, \quad (5)$$

其中参量的意义和(4)式中一样, $|A_T|$ 的表达式为:

$$A_T = \text{const} + \left[(m_t/m_{t_0t}) \cdot E_0 + Q_1 - (m_{t_0t}/m_{23})\epsilon_1 - \frac{i\Gamma}{2} \right]^{-1}.$$

其中 $m_{t_0t} = m_0 + m_t$, m_t 是靶核质量, m_0 是入射粒子的质量, Q 是三体出射道中两步连续衰变的第一步, 通过 $^{24}\text{Mg}^*$ 所包含的能级的两体反应 Q 值, m_{23} 是第一步衰变中间核的质量, 在此即为 $^{24}\text{Mg}^*$ 的核质量 ϵ_1 是第一个出射粒子的质心系能量, Γ 是 $^{24}\text{Mg}^*$ 相应能级宽度, 上述公式是用来计算三体反应出射道末态核均处于基态如 $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$, $^7\text{Li}(d, 2\alpha)n^{[4,5]}$

在我们的实验数据中, 因为 $^{24}\text{Mg}^*$ 的衰变不仅是到达 ^{20}Ne 的基态, 而可以到达 ^{20}Ne 的一切可能的激发态, 因此要采用公式(5)进行理论分析时, 必须引进一个表示由 $^{24}\text{Mg}^*$ 衰变到 ^{20}Ne 不同末态的分支比 f :

$$\frac{d^3\sigma}{dQ_1 dQ_2 dE_1} = p_1 \cdot p_2 \left(1 + \frac{m_3}{m_2} + p_1 \cos \Delta_{12} / p_2 - p_0 \cos \theta_2 / p_2 \right)^{-1} \cdot |A_T|^2 \cdot f. \quad (6)$$

由于三体反应的出射道是通过 $^{24}\text{Mg}^*$ 的各种可能的高激发态而来的; 而这些态及其相应的能级宽度至今尚不知道, 由此, 我们只能设想这些高激发态几乎处于能级的连续区的边缘, 它们的相应宽度 Γ 足够地小, 以致可略。这些高激发态的大致位置可以从两体运动学估算, 然后在截面的理论计算与实验能谱的拟合时作适当调节, 得到激发态的能级位置。 f 值取自实验谱的粗略估算, 计算结果表明很多峰来自 $^{24}\text{Mg}^*$ 的高激发态。其结果分别示于图 2 的 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f) 中。图中虚线表示两体连续两步衰变的理论计算结果, 实线是表示两体连续两步衰变加同时的统计剥裂过程的理论计算结果。图中显示的理论计算结果与实验能谱满意地符合, 那些宽粗的峰则表示它并不来自单一能级, 而是密集能级叠加结果。

(3) 其它道的两体连续两步衰变过程

涉及 $^8\text{Be}_{\text{ist}} + ^{20}\text{Ne}^* \rightarrow \alpha_1 + \alpha_2 + ^8\text{Ne}^*$ 道, 从三体反应的运动学计算表明, 在 $^{20}\text{Ne}^*$ 的某些激发态, 不能完全排除有少量的这种反应机制的混杂, 如图中箭头所指处。但总的说来, 两体连续两步衰变加上剥裂机制的统计理论计算结果, 能满意地拟合实验能谱。

$^{24}\text{Mg}^*$ 的形成机制或许可以由上述理论计算结果间接地推论出, $^{24}\text{Mg}^*$ 的高激发态可由 ^{12}C 核转移一个 ^8Be 至 ^{16}O 上而形成。因为在本实验中所测到的 ^8Be 的产额小到可以忽略的程度, 因此可以说明反应道 $\alpha + ^{24}\text{Mg}^*$ 是 $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$ 三体反应出射道的第一步, 接着是 $^{24}\text{Mg}^*$ 的高激发态 (或称 $^{24}\text{Mg}^*$ 的集团态更为贴切) 衰变到 ^{20}Ne 的两个转动态: 基态 (O^+)、1.63MeV (2^+)、4.25MeV (4^+) 和 7.43MeV (O^+)、8.8MeV (2^+)。

对于 ^{20}Ne 的 5.70MeV (1^- , 7^-) 态, 可能是由于复合核 $^{28}\text{Si}^*$ 的连续两步衰变所到达的 $\alpha_1 + \alpha_2 + ^{20}\text{Ne}^*$ 。

综上所述, 我们可以得出如下几点初步结论:

1. 能量为 56MeV 的 ^{16}O 束轰击 ^{12}C 的三体出射道的实验能谱特征, 能满意地被两体连续两步衰变加上同时剥裂机制的统计理论所描述。

2. $\alpha + ^{24}\text{Mg}^*$ 是 $^{12}\text{C} + ^{16}\text{O}$ 三体反应出射道的第一步, 是主要的中间过程, 在 $^{12}\text{C} +$

