

$^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 短寿命蒸发余核截面的研究

王素芳 蔡薇 郑纪文 梁国照

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

在束流能量范围 52—71 MeV 中我们通过 γ 探测完成了 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 反应蒸发余核截面的测量. 借助一个特别的装置将余核从靶室内传送到测量站后用一台 Ge(Li) 探测器探测了. 最后仅得到了蒸发余核的相对生成截面.

一、前 言

在重离子核反应的研究中,全熔合反应占有重要的地位. 全熔合激发函数的实验测量已经得到了相当丰富的实验结果,与实验发展的同时,为了解释这些实验结果,从理论上复现全熔合激发函数,提出了许多理论模型及其全熔合过程的各种限制条件^[1],以此来描写全熔合过程与其它反应机制的竞争. 除很重的组合体系外,位垒穿透模型成功地复现了低能区的全熔合激发函数. 反过来,借助于模型又可以从实验激发函数提取相互作用位垒参数及其核势.

然而就实验结果而言,现在比较完整的全熔合激发函数的实验曲线都是较轻体系的,其中一个重要原因是实验的方便. 对于中重靶核,目前还是很缺乏完整的激发函数的实验结果. 因为从实验技术上讲,中重靶核产生的熔合蒸发余核的反冲动能过低,通常方便迅速的 $\Delta E \sim E$ 望远镜及飞行时间技术已经不能直接鉴别和测量了. 这些产物大多是缺中子的放射性核素,因而活性分析成为这些产物测量的主要方法. 然而由于各种核素蜕变寿命的长短不同以及有关蜕变数据的不足,这无疑会给实验及其数据分析带来困难,特别是对于很多短寿命的核素.

本工作在 52—71 MeV 的范围内,采用离线活性分析的方法测量了 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 体系的全熔合复合核蒸发余核的生成截面,这里所涉及的核素大约都是一分钟量级的半寿命的核素,为了实现一分钟量级的半寿命核素的测量,我们设计安装了一套简易的带传输系统,可以在 1 秒的时间内实现从照射区到测量区的样品传递. 但是由于体系的绝对效率没有校准,实验结果未能给出绝对截面,而是给出了相对激发函数.

二、实验条件及数据获取

束流是我所 1.5 米重离子迴旋加速器供给的 72.5MeV 的 ^{12}C 离子束, 通过装在准直管前边的铝箔降能装置可以改变束流能量。

靶子是用 78% 丰度的 ^{112}Sn 金属滚压而成, 厚度为 $2.2\text{mg}/\text{cm}^2$ 。经过计算, 反冲余核能完全从靶中穿出的有效靶厚为 $760\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

为探测 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 的反应产物的 Cs 同位素的 γ 放射性, 我们设计加工了一个简单的传送带装置^[2]。反应产物收集在宽 1.27cm, 厚 28μ 的镀铝 mylar 箔上。传送带靠靶室外的步进电极带动, 在 1 秒钟内把收集到的样品送到靶室外的屏蔽室内的 Ge(Li) 谱仪前探测。步进电极的电源用我所电子学室自制的“时间顺序自动控制仪”供给。

对 Ge(Li) 谱仪的探测效率用标准源 ^{153}Eu 和 ^{22}Na 做了校准, 探测效率在 200keV 时为 7.27×10^{-2} , 而在 1000keV 时为 1.61×10^{-2} 。

来自 Ge(Li) 谱仪的能量信号记录在 Multi-20 上。同一个样品在一分钟里以 20 秒的周期依次记录三个能谱。这样我们就可以得到衰变曲线上的三个实验点。

三、数据处理

从 Multi-20 得到的反应产物的一系列 γ 能谱均以样品移走的瞬间 (即停止照射时刻) 为标准 0 点, 对同样的束流能量下同一时刻的能谱进行叠加, 得到统计较高的 γ 能谱

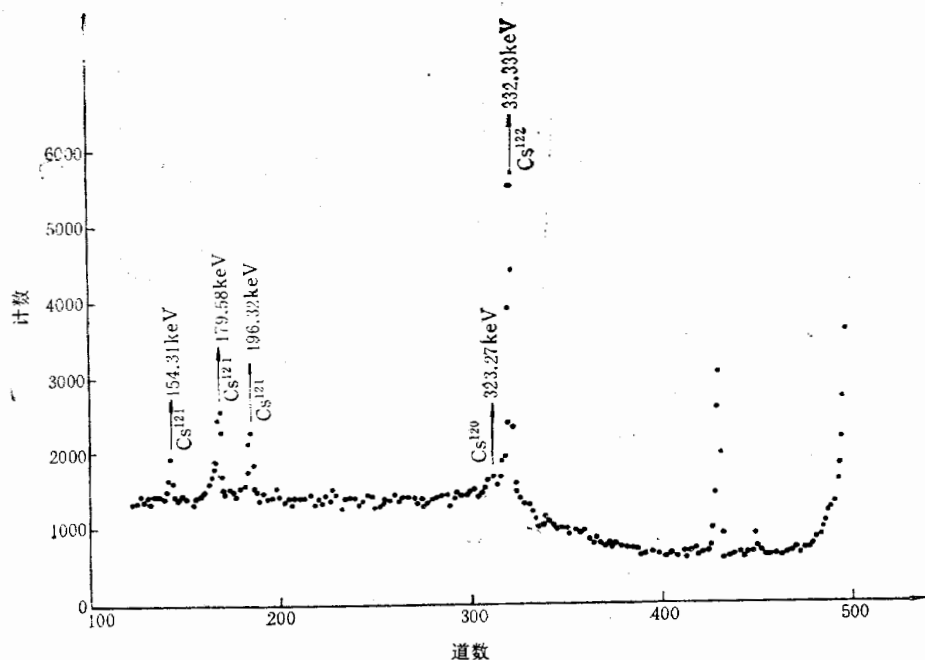
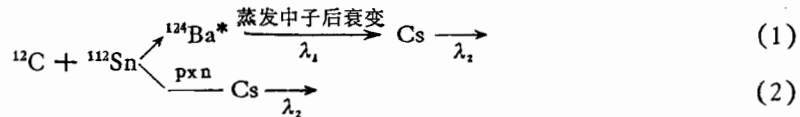


图1 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 反应中产物的 γ 能谱。 $E_L = 58.4\text{MeV}$

(图 1). 从能谱上可以看到同位素 ^{120}Cs , ^{121}Cs , ^{122}Cs 的峰是很明显的, 特别是 ^{121}Cs 有相邻的三个强度较大的峰. 我们选择 γ 相对强度是 100 的峰, 即能量为 323.27keV (^{120}Cs), 179.26keV (^{121}Cs), 332.33keV (^{122}Cs) 这三个峰做数据处理, 以得到这三个同位素的半衰期及反应的相对截面.

对所选择的同位素峰 (^{120}Cs , ^{121}Cs , ^{122}Cs) 求出面积积分. 由这些计数可得到各同位素在半对数坐标中的衰变曲线. 本想对其分解以得到母核 ^{120}Ba , ^{121}Ba , ^{122}Ba 的半衰期及 ^{120}Cs , ^{121}Cs , ^{122}Cs 的半衰期, 但因只有三个实验点, 所以未能进行分解, 只分别求出了 ^{120}Ba 与 ^{120}Cs , ^{121}Ba 与 ^{121}Cs , ^{122}Ba 与 ^{122}Cs 的混合半衰期.

实验中测量的核素 ^{120}Cs , ^{121}Cs 和 ^{122}Cs , 可能是反应中直接产物, 也可能是 Ba 的衰变产物, 即



(2)

设在 t 时刻, 由(1)产生的一种 Cs 同位素的核数为 $N_1(t)$, 由(2)产生的该种核素的数目为 $N_2(t)$. 则由放射性递次衰变规律得:

$$N_1(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1(0)(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$N_2(t) = N_2(0)e^{-\lambda_2 t}$$

在此处;

$$\left. \begin{aligned} N_1(0) &= \sigma_1 \phi(t') n \\ N_2(0) &= \sigma_2 \phi(t') n \end{aligned} \right\} \text{为 } 0 \text{ 时刻的同位素核数目.}$$

σ_1 , σ_2 分别为形成同位素 Ba, Cs 的截面. n 为单位面积中的靶核数. $\phi(t')$ 为等效束流, 即考虑了照射过程中先生成核素的衰变. 也就是说 $\phi(t')$ 为照射一分钟时考虑了束流的累计效应后在标准 0 点的有效束流通量.

从放射性核素的衰变规律出发, 并考虑到谱仪的探测效率, 实际测量得到的计数应为:

$$N(t) = A\sigma_1 + B\sigma_2$$

这里系数 A, B 为 n, ϕ, λ_2, t 及探测效率 γ 的函数.

因为在同一能量下, 依次测了三个能量点, 故可通过解三个不同时刻的方程得到生成 Ba 各同位素的相对截面 σ_1 及由 pxn 反应直接生成 Cs 同位素的截面(图 2). 计算中考虑了 γ 射线的衰变分支比^[3].

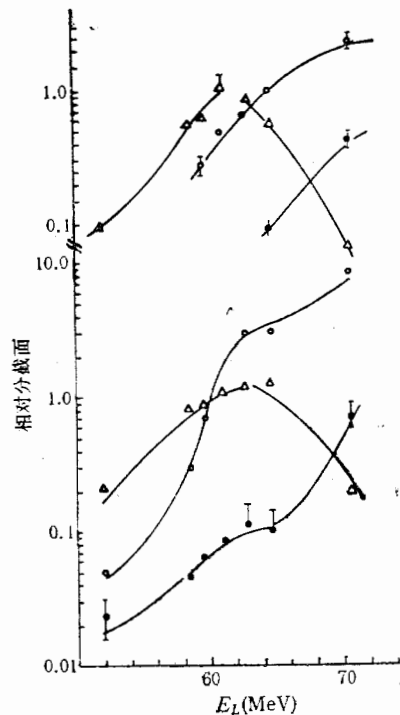


图 2 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 反应产物相对截面, 上部为蒸发余核产物: \bullet ^{120}Ba , \circ ^{121}Ba , \triangle ^{122}Ba , 下部为 pxn 产物: \bullet ^{120}Cs , \circ ^{121}Cs , \triangle ^{122}Cs

四、实验结果

本实验中粗略地得到了 ^{120}Ba 与 ^{120}Cs , ^{121}Ba 与 ^{121}Cs , ^{122}Ba 与 ^{122}Cs 的混合半衰期分别为 48S, 107S, 33.3S. 由文献[4]得知 ^{120}Ba , ^{121}Ba , ^{122}Ba 的半衰期为 32S, 30S, 120S, 而 ^{120}Cs , ^{121}Cs , ^{122}Cs 的半衰期分别为 60S, 126S, 21S, 显然我们得到的混合半衰期很接近 Cs 同位素的半衰期.

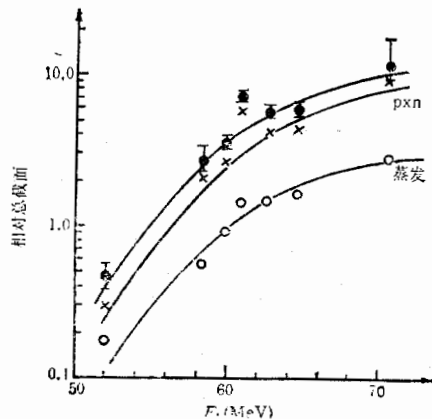


图3 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 相对反应截面. 最上边一条为总的相对截面

$^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$ 反应产物相对分截面给在图2中上部为蒸发 xn 余核的产物, 即为 (pxn) 产物. 从该图可看出随着能量的增大, 蒸发余核 ^{122}Ba , ^{121}Ba , ^{120}Ba 依次出现, ^{122}Ba , ^{121}Ba 的产额峰值分别在 61.6MeV, 70.6MeV 附近. 相对分截面的形状与预期的相同. pxn 产物按入射能增加顺序依次为 ^{122}Cs , ^{121}Cs , ^{120}Cs . ^{122}Cs 产额峰值在 62MeV 处, 而 ^{121}Cs , ^{120}Cs 的激发函数随能量增加都在增加, 在 62—64MeV 处有一肩膀, 后又继续上升. 由于能量范围未能向高能做下去, 相对总截面给在图3中, 看来直接反应可能对 (pxn) 截面有贡献.

图2, 3中所标误差包括靶厚, 照射束流, 计数率误差. 加权后总误差为 $\pm 20\%$. 因为未能对整个体系的探测效率进行校准, 所以本工作只得到了相对激发函数.

五、结 论

本实验中测量了 $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Cs}$ 反应中生成的 ^{120}Cs .

参 考 文 献

- [1] V. Mosel, Heavy-ion Fusion Reaction in Treatise on Heavy-ion Science, Vol. 2 P3-69Ed, by D. A. Browley.
- [2] 王素芳等人, 核技术, Vol. 11, No. 2(1988).
- [3] E. Browne et al., in "Table of Isotopes" (1978), Ed. by C. Michael Lederer and Virginia S. Shirley.
- [4] 卢希庭等人, 核数据手册, 原子能出版社(1981).

STUDY ON CROSS SECTION OF THE SHORT LIFE EVAPORATION RESIDUES IN REACTION $^{12}\text{C} + ^{112}\text{Sn}$

WANG SUFANG CAI WEI ZHENG JIWEN LIANG GUOZHAO

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou*)

ABSTRACT

Measurement of the evaporation residues from the bombardment of 52—71 MeV ^{12}C ion on ^{112}Sn have been performed by means of γ -ray detection. The residues have been transported from inside of the target chamber to the detection port by using a special device, and detected by a Ge(Li) detector. Only the relative cross sections have been obtained.

)
a
1
,
二
i
3