

47MeV/u ^{12}C 同 ^{133}Cs 反应碘同位素 产额的测定

杨维凡 赵之正 李宗伟 孙秀荣 谢秀君
牟万统 秦 芝 张 立 杨永峰 孙儒林

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

摘 要

用放化法测量了 47MeV/u ^{12}C 同 ^{133}Cs 相互作用时碘同位素的产额. 发现碘同位素产额分布曲线的峰位在 ^{124}I 附近, 半宽度为 6.5 质量单位, 最可几产物的质量损失为 9.2 个质量单位. 靶核削裂 2 个质子的产物 ^{131}I 的形成截面约 0.47—0.87mb, 没观察到靶核削裂 2 个质子, 再俘获 1 个中子的产物 ^{132}I 的活性.

一、引 言

在低能 ($E < 10\text{MeV/u}$) 轻的重离子引起的反应中, 溶合/蒸发是主要反应道. 除此之外, 各种非完全熔合过程也有相当的贡献^[1,2]. 用高能核炮弹 ($E > 1\text{GeV/u}$) 照射靶核时, 则发生散裂反应, 可用 Participant-Spectator 模型来描述. 中能核炮弹则相应于全熔合及转移反应占优势的低能和直接核子-核子碰撞的相对论能量范围之间的过渡. 到目前为止, 对高、低能区的核反应已经做了广泛的研究. 随着中能加速器的建成, 人们开始对中能重离子引起的实验研究感兴趣.

靶核碎裂后产物余核生成截面的测量和同位素产额分布的测定能广泛地用于重离子引起的反应机制的研究. 在高能核炮弹引起的反应中, 对产物的同位素和同量异位素分布已经有了较多的实验数据^[3-5]. 不过, 对中能核反应, 同位素和同量异位素分布的实验数据则较少^[5,6].

本文报告了用 47MeV/u ^{12}C 离子束同 ^{133}Cs 厚靶反应, 碘同位素生成截面的测量结果, 目的在于获得碘同位素的产额分布. 同时也想得到中能重离子同中、重靶核反应时, 靶核削裂 2 个质子不蒸发中子或靶核削裂 2 个质子再俘获一个中子时产物余核生成截面的数据, 为用中能重离子合成新丰中子核素提供有益的直观数据.

二、实 验

1. 照射和化学分离

在兰州重离子加速器(HIRFL)上完成照射,用 $47\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 离子照射CsCl(分析纯)和 CsNO_3 (光谱纯)粉末厚靶.靶厚分别为 523mg/cm^2 和 562mg/cm^2 .根据Ziegler的能量射程曲线^[7], ^{12}C 离子在靶中心的能量减到 40MeV/u 左右.靶子装在铜靶室中,放在法拉第筒的底部.靶前方的准直光栏直径为 10mm .平均束流强度大约 $5\text{--}10\text{nA}$.共完成两次照射,照射时间分别为 3h 和 1.5h .在照射期间,用法拉第筒监测束流随时间的变化.

照射结束后,把靶材料混合均匀后分成三份,一份用于直接 γ 单谱测量,另两份用来化学分离.用标准放化程序从照射过的靶材料中分离碘.为了保证放射性碘同位素和载体碘之间的完全交换,在碱性溶液中用 NaClO 把碘载体(I^-)氧化到 IO_3^- ,再用 $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 把高价态碘还原到 I_2 ,用 CCl_4 萃取 I_2 .完成 NaHSO_3 的反萃后,碘最后以 AgI 的形式沉淀,制成 γ 测量源.

2. γ 射线能谱测量和数据分析

照射过的未经化学分离的样品和 AgI γ 测量源分别用已刻度过效率的 Ge(Li) 和 HPGe 谱仪测定它们的 γ 射线能谱.用于获得 $100\text{keV--}2\text{MeV}$ 之间 γ 射线单谱,对 ^{60}Co 1332keV 的分辨分别为 2.5keV 和 2.1keV .并做了时间序列 γ 射线能谱测量.数据获取在Multi-20多道获取系统和IBM微机加918A多道缓冲器上进行.数据贮存在磁带上.

表1 计算中使用的碘同位素的衰变性质

同位素	半衰期	主要 γ 射线能量 (keV)	分支比 (%)
^{121}I	2.12h	212.2	85.0
^{123}I	13.2h	159.0	83.3
^{124}I	4.18d	602.7	61.0
^{126}I	13.02d	388.6	32.2
^{128}I	25.0min	442.9	16.0
^{130}I	12.36h	536.1	99.0
		668.5	96.1
^{131}I	8.02d	364.5	81.2

γ 射线能谱的分析在VAX计算机上进行,对未经化学分离的样品使用Sampo解谱程序确定 γ 射线能谱的全能峰面积,用Leone程序确定由 AgI 样品得到的 γ 射线谱的全能峰面积,以便得到弱的 γ 射线能谱峰的数据.根据 γ 射线谱仪效率、衰变时间、束流强度、靶核数、化学产额以及有关核素的 γ 射线丰度,由公式(1)计算每个核素的生成截面.

$$\sigma = \frac{S \cdot e^{\lambda t}}{N \cdot \epsilon_{\gamma} \cdot \eta_{\gamma} \cdot \eta_c \cdot e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) \int_0^t I(t) e^{\lambda t} dt}, \quad (1)$$

这里 S —— γ 射线全能峰面积; λ ——衰变常数; N ——靶核数; ϵ_{γ} —— γ 射线丰度; η_{γ} —— γ

射线谱仪的探测效率; η_c ——化学产额; T ——照射时间, t_1 ——照射结束到测量开始的时间; t_2 ——测量开始到测量结束的时间; $I(t)$ —— ^{12}C 束流强度.

表 1 给出计算中使用的碘同位素的衰变性质^[6]. 根据核素的 γ 射线能量, 半衰期和 γ 射线丰度对核素进行鉴定. 由化学分离和未经分离的样品中 ^{124}I 和 ^{126}I 的活性, 确定化学产额.

三、结果和讨论

表 2 给出实验中测得的 7 个碘同位素的独立生成截面, 表中给出的误差是标准偏差, 它包括最小二乘法衰变曲线拟合的误差, 全能峰强度的统计误差, 探测器效率误差 (5—10%), 化学产额及束流监测的误差等, γ 射线丰度及靶样品的称量误差没有包括在内.

表 2 实验中测得的碘同位素独立产额

核素	$^{121}\text{I}^*$	$^{123}\text{I}^*$	^{124}I	^{126}I	^{128}I	^{130}I	^{131}I
截面 (mb)	10.3 ± 2.6	13.9 ± 2.8	17.0 ± 2.0	11.7 ± 1.3	4.40 ± 1.30	1.20 ± 0.30	0.67 ± 0.20

* 对 Xe 母体的衰变进行修正后的产额

用非线性最小二乘法程序对测量的截面进行拟合, 拟合时使用下面的公式:

$$\sigma_i(A) = \sigma_0 \exp\left[-\frac{(A - A_0)^2}{2S^2}\right]. \quad (2)$$

图 1 显示碘的同位素产额分布.

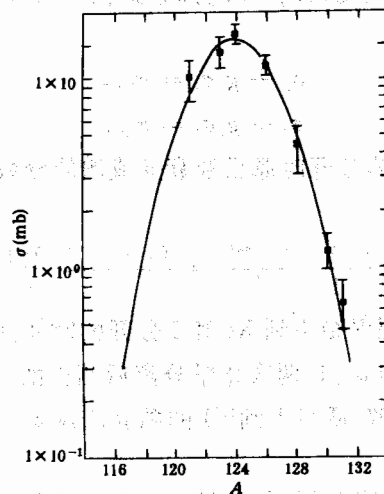


图 1 47MeV/u ^{12}C 同 ^{133}Cs 反应碘同位素产额分布

表 3 给出拟合中得到的高斯参数. 产额分布曲线的峰位在 ^{124}I 附近, 曲线的半宽度 6.5 质量单位, 最可几产物的质量损失 $\Delta A = A_T - A_P$ 为 9.2 质量单位. A_T 和 A_P 分别指靶

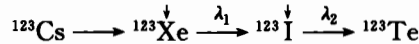
核和最可几产物的质量.

表3 碘同位素产额分布的高斯参数

$\sigma_0(\text{mb})$	15.99 ± 0.70
$A_0(\text{质量单位})$	123.80 ± 1.80
$S(\text{质量单位})$	2.76 ± 0.19
$\sigma_g(\text{mb})$	110.70 ± 0.71

测得的7个碘同位素除 $^{121,123,131}\text{I}$ 外,都是屏蔽核. ^{131}I 的母体 ^{131}Te 的半衰期虽然不很长,但在这个反应中来自 ^{131}Te 的贡献可以忽略不计.因此,也可以认为 ^{131}I 的产额是近似的独立产额.为了从测得的 $^{121,123}\text{I}$ 的部分累计产额直接计算它们的独立产额,需要知道它们的母体甚至上一代母体的截面.但在我们的实验中要测得母体Xe的产额是很困难的,同时 $^{121,123}\text{I}$ 的上一代母体 $^{121,123}\text{Cs}$ 的寿命也很短.因此,只能用间接的方法才能得到它们的独立产额.

我们对同一次照射过的铯样品完成两次化学分离.照射结束后20分钟开始第一份的分离,2小时后再做第二份的分离.根据两次测得的 $^{121,123}\text{I}$ 的产额,便可得到它们的独立产额.下面用计算 ^{123}I 的独立产额做说明.



上面给出质量为123的同量异位素的部分衰变链.令 ^{123}Xe , ^{123}I 的衰变常数分别为 λ_1 和 λ_2 ,反应中直接产生的 ^{123}I 的截面(独立的)为 σ_2 , ^{123}Xe 的生成截面(独立的和来自母体衰变的)为 σ_1 ,两次化学分离后测得的 ^{123}I 的部分累积产额分别为 σ_{1pc} 和 σ_{2pc} ,则有下面的关系:

$$\sigma_2 + g_1\sigma_1 = \sigma_{1pc}, \quad (3)$$

$$\sigma_2 + g_2\sigma_1 = \sigma_{2pc}. \quad (4)$$

令化学分离中碘和氙母体分开时氙已经衰变成碘的分数为 g .假定在照射期间束流恒定,则 g 可用下式求得:

$$g = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \left\{ \frac{1 - e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t_1}}{1 - e^{-\lambda_1 t_1}} + \frac{(1 - e^{-\lambda_1 t_1})[1 - e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t_2}]}{1 - e^{-\lambda_1 t_1}} \right\}, \quad (5)$$

t_1 ——照射时间间隔, t_2 ——照射结束到Xe和I分开的时间间隔.当 t_1 和 t_2 知道后,便可计算出 g_1 和 g_2 的数值. σ_{1pc} 和 σ_{2pc} 是两次化学分离后测得的 ^{123}I 的部分累积截面.利用通常的方法对方程(3)和(4)求解,便可得到 ^{123}I 的独立产额 σ_2 .用同样的方法,也可得到 ^{121}I 的独立产额.

我们的结果和Molzahn等人^[9,10]的结果——靶核每增加或减少一个质子,超靶或低靶产物的最可几同位素与靶核的质量差为4—5个质量单位——是一致的.靶核削裂2个质子的产物 ^{131}I 的生成截面约为0.47—0.87mb,在本实验中没有观察到靶核削裂2个质子,再俘获一个中子的产物 ^{132}I 的活性.若将碘同位素分布曲线外推, ^{132}I 的截面约为0.19mb.看来该反应中 ^{132}I 的生成截面比曲线外推的值要小.

参 考 文 献

- [1] D. J. Parker, J. J. Hogan, J. Asher, *Phys. Rev.*, **C39**(1988), 2256.
[2] D. J. Parker et al., *Phys. Rev.*, **C30**(1984), 143.
[3] Westfall, G. D. et al., *Phys. Rev. Lett.*, **43**(1979), 1859.
[4] K. Aleklett et al., *Phys. Rev.*, **C23**(1981), 1044.
[5] De Saint Simon et al., *Phys. Rev.*, **C26**(1982), 2447.
[6] Sauvageon, H. et al., *Z. Phys.*, **A314**(1983), 181.
[7] U. Littmark, J. F. Ziegler, *Handbook of Range Distribution for Energetic Ions in All Elements*, Volume 6.
[8] U. Reus, W. Westmeier, *Atom. Data and Nucl. Data Table*, (1983).
[9] K. Aleklett et al., *LBL Annual Report*, (1981), 132.
[10] D. Molzahn, F. Lund, R. Brendt, E. Ilagebo, I. R. Ildorsen, C. R. Serre, *J. Radioanal. Chem.*, **80**(1984), 109.

**Measurement of the Iodine Isotopic Yields from
the Interaction of 47 MeV/u ^{12}C with ^{133}Cs**

YANG WEIFAN ZHAO ZHIZHENG LI ZONGWEI SUN XIURONG XIE XIUJUN
MU WANTONG QIN ZHI ZHANG LI YANG YONGFENG SUN RULIN
(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000*)

ABSTRACT

The formation cross sections of iodine isotopes from the interaction of 47 MeV/u ^{12}C with ^{133}Cs have been measured radio-chemically. The isotopic yield distribution curve has been constructed. It is found that the peak of the curve is in the vicinity of ^{124}I and the curve has a FWHM of 6.5 mass units. The mass loss of the most probable product is 9.2 mass units. The cross section of ^{131}I which is produced by stripping of two protons from the target nuclei is 0.47—0.87 mb. The activities of ^{132}I was not observed.