

文章编号: 1007-4627(2004)04-0398-02

60 MeV/u ^{18}O 离子同天然铀反应钡同位素截面的测定*

杨维凡, 徐岩冰, 袁双贵, 牛雁宁, 丁华杰

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 通过 60 MeV/u ^{18}O 离子照射天然铀靶产生 Ba 放射性同位素, 使用 BaCl_2 沉淀法从大量铀和其它反应产物混合物中分离出 Ba. 通过离线 γ 谱学方法测量了 Ba 样品的 γ 射线单谱, 根据 Ba 同位素特征 γ 射线峰的强度及其它相关数据计算了 Ba 同位素的生成截面. 发现在厚铀靶的情况下, 缺中子 Ba 同位素仍有较高的截面.

关键词: 中能重离子; 缺中子 Ba 同位素; 截面; BaCl_2 沉淀

中图分类号: O571.4 **文献标识码:** A

当炮弹的能量略高于库仑位垒时, 所得到的裂变产物几乎全部来自复合核的裂变. 随着炮弹能量的增加, 裂变的其它过程开始突显出来. 当炮弹的总能量超过 1 GeV 之后, $A=70-170$ 的同位素其反应产额显示出与入射炮弹能量的依赖关系逐渐减弱. 早期的研究主要集中在低能或高能的核碰撞^[1, 2]. 对轰击能量低于 10 MeV/u 的重离子引起的反应, 其产物截面的贡献主要来自复合核和深部非弹过程, 而高能粒子的碰撞则引起散裂反应. 当入射炮弹的能量改变时, 研究重离子引起的反应机制的变化是非常重要的. 近些年来, 中能重离子碰撞引起的反应越来越引起人们的广泛兴趣^[3, 4]. Saint Simon 等^[4]用 77 MeV/u ^{12}C 离子轰击 Ta 靶, 能观察到非常缺中子的 ^{118}Cs , 它与 Cs 的稳定同位素 ^{133}Cs 差 15 个质量单位. 因此, 用中能炮弹的碎裂反应产生远离稳定线的缺中子同位素, 进而研究它们的衰变性质是一种行之有效的方法. 而离线的放化研究能确切地了解裂变过程的细节, 不过, 在中能区有关放射化学研究的论文却发表得较少^[5, 6]. 本文报道用 60 MeV/u ^{18}O 离子同天然铀反应 Ba 同位素生成截面的测量结果.

使用中国科学院近代物理研究所中能重离子加速器(HIRFL)提供的 60 MeV/u ^{18}O 离子束流进行照射. 用重铀酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7, 1.5 \text{ g}]$ 做靶材料, ^{18}O 离子的束流强度为 30—40 nA, 每个靶持续照射 30—150 min. 照射期间用法拉第筒监测束流的变化. 照射完后, 用气动传输装置将铀靶快速传

送到放化实验室. 将照射过的重铀酸铵粉末溶于沸腾的浓 HNO_3 溶液中, 完成三次 BaCl_2 沉淀^[7], 以便将 Ba 从大量铀和其它反应产物混合物中分离出来. 最后, 制成 BaCl_2 固体源, 用于 γ 计数. 用 ^{133}Ba 做示踪剂, 确定 Ba 的化学产额, 通常大约 80%.

照射结束和计数开始之间的时间为 10—15 min. 用一台效率为 70% 的 HPGe 探测器联同多道分析器对分离出的 BaCl_2 固体源做 γ 射线单谱测量, 该探测器对 ^{60}Co 的 1.33 MeV 的能量分辨为 2.2 keV, 测量数据储存在硬盘上. 用一套混合 γ 放射源做系统的能量刻度, 用标准 ^{152}Eu 源做探测器的效率刻度. 通过一套计算机拟合和分析程序对获取的 γ 射线单谱进行分析. 根据 γ 射线的跃迁能量、半衰期和相对强度, 指定每一个 Ba 同位素. 根据 Ba 同位素特征 γ 射线峰的强度、探测器效率和其它相关数据, 用通用的生成截面的计算公式计算 Ba 同位素的产生截面.

图 1 给出从照射过的铀靶中分离的 Ba 样品的 γ 射线单谱. 该谱显示除了 Ba, Cs 和 Ra 同位素及其子体的主要 γ 射线外, 没发现其它核素的沾污. 这说明我们使用的分离 Ba 的流程对去除杂质有较好的效果. 表 1 给出 60 MeV/u ^{18}O 离子同天然铀反应产生的放射性 Ba 同位素的截面. McGaughey 等^[1]测量了不同能量的 ^{12}C 和 ^{20}Ne 同 ^{238}U 反应产生

收稿日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10075063, 10175079); 国家重大基础研究发展规划资助项目(G2000077400)

作者简介: 杨维凡(1940--), 男(汉族), 河北丰润人, 研究员, 从事核物理和核化学研究; E-mail: ywf@impcas.ac.cn

的 Ba 同位素的累积截面, 但他们仅得到 4 种 Ba 同位素的截面. 而且这 4 种 Ba 同位素都接近 β 稳定

由此可以推断, 如果利用不同的弹靶组合, 使用中能炮弹轰击厚靶, 缺中子同位素的产额便可大大增加. 使用这种方法, 可以产生中子反应堆和其它中子反应所不能产生的各种缺中子放射性同位素.

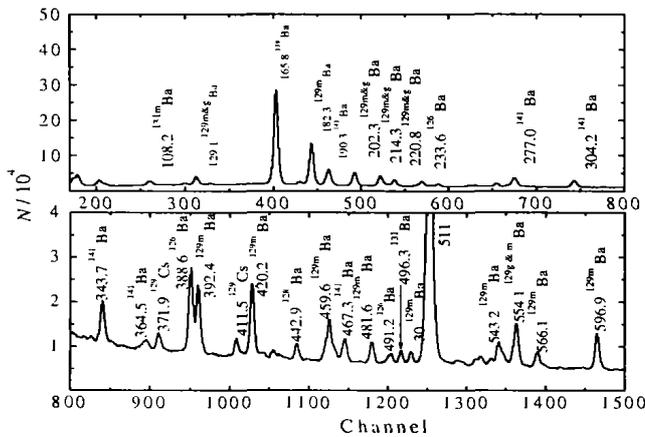


图 1 从照射过的铀靶中分出的 BaCl₂ 样品的 γ 射线单谱

线. 同文献[7]的结果相似, 在中能和厚靶的情况下, 本实验得到的比较缺中子的 Ba 同位素也有较高的生成截面. 在我们的实验中测得的 ¹²⁸Ba 的生成截面(1.6 mb)比 Lee 等[5]用 20 MeV/u ¹²C 离子轰击 27 mg/cm²的 ²³⁸U 靶产生 ¹²⁸Ba 的截面高得多.

表 1 60 MeV/u ¹⁸O 离子同天然铀反应产生的放射性钡同位素的截面

核素	T _{1/2}	E _γ /keV	分支比	类型*	σ/m
¹²⁶ Ba	1.67 h	233.6	0.204	C	0.43
¹²⁸ Ba	2.43 d	442.9	0.258	C	1.6
^{129m} Ba	2.13 h	182.3	0.470	C	1.7
^{129g} Ba	2.20 h	214.3	0.099	C	1.7
^{131g} Ba	11.8 d	496.3	0.471	C	4.2
^{133m} Ba	38.9 h	276.1	0.175	C	3.4
^{135m} Ba	28.7 h	268.2	0.156	C	3.4
¹³⁹ Ba	1.38 h	165.8	0.238	C	6.8
¹⁴⁰ Ba	12.75 d	537.3	0.244	C	9.4
¹⁴¹ Ba	18.27 m	304.2	0.250	C	6.2
¹⁴² Ba	10.7 m	1 204.0	0.160	C	4.9

* C 代表累计产额.

参 考 文 献:

[1] McGaughey P L, Loveland W, Morrissey D J, et al. Phys Rev, 1985, C31: 896.
 [2] Molzaht D, Lund T, Brandt R, et al. J Radioanal Chem, 1983, 80: 109.
 [3] Yang W F, Zhao Z Z, Li Z W, et al. J Radioanal Nucl Chem, 1996, 214: 50.
 [4] Saint Simon M de, Haan S, Audi G, et al. Phys Rev, 1982, C26: 2 447.
 [5] Lee C H, Yu Y W, Lee D, et al. Phys Rev, 1987, C38: 1 766.
 [6] Yu Y W, Lee C H, Moody K J, et al. Phys Rev, 1987, C36: 2 396.
 [7] 杨维凡, 袁双贵, 熊兵等. 同位素, 2000, 13(2): 73.

Determination of Cross Sections of Ba Isotopes in Interaction of 60 MeV/u ¹⁸O with ²³⁸U*

YANG Wei-fan, XU Yan-bing, YUAN Shuang-gui, NIU Yan-ning, DING Hua-jie
 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The radioactive Ba isotopes were produced by 60 MeV/u ¹⁸O ion bombardment of natural uranium. Ba was separated from U and the reaction product mixture by BaCl₂ precipitation. The Ba fraction was measured by off-line γ-ray spectroscopy. The cross sections of the individual Ba isotope were calculation based on the intensities of the character γ-ray peaks of Ba isotopes and other relative information. It was found that the n-deficient Ba isotopes have higher cross sections using the thick uranium targets.

Key words: intermediate energy heavy ion; n-deficient Ba isotope; cross section; BaCl₂ precipitation

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10075063, 10175079); Major State Basic Research Development Program (G2000077400)