

60 MeV/u ^{18}O 与 ^{232}Th 反应的 Ba 同位素产生截面

袁双贵¹, 杨维凡¹, 徐岩冰¹, 丁华杰¹, 张生栋², 卢希庭³

1. 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000
2. 中国原子能科学研究院, 北京 102413
3. 北京大学物理学院, 北京 100871

[摘要] 60 MeV/u ^{18}O 离子与 ^{232}Th 反应产生放射性 Ba 同位素。通过 3 次 BaCl_2 沉淀, 将 Ba 从大量的 Th 和其他反应产物混合物中分离出来。使用离线 γ 谱学方法完成 Ba 样品 γ 活性的测量。根据各个 Ba 同位素的特征 γ 射线峰的活度和其他相关数据, 得到 Ba 同位素的产生截面。

[关键词] ^{18}O 离子; Ba 同位素; 产生截面; BaCl_2 沉淀

[中图分类号] O571.431, O571.432

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)12-0050-03

Production Cross Sections of Ba Isotopes from the Reaction of 60 MeV/u ^{18}O with ^{232}Th

YUAN Shuanggui¹, YANG Weifan¹, XU Yanbing¹, DING Huajie¹, ZHANG Shengdong², LU Xiting³

1. Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China
2. China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China
3. School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: The radioactive Ba isotopes are produced in the interaction of 60 MeV/u ^{18}O ions with ^{232}Th . Ba is separated from thorium and the reaction product mixture by using BaCl_2 precipitation. The γ -ray spectra of the Ba fractions are measured by off-line γ -ray spectroscopy. The cross sections of the individual Ba isotopes are obtained based on the intensities of the characteristic γ -ray peaks of Ba isotopes and other relative information.

Key Words: ^{18}O ions; Ba isotopes; production cross sections; BaCl_2 precipitation

CLC Numbers: O571.431, O571.432

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)12-0050-03

0 引言

在重离子引起的反应中, 研究反应机制如何随入射炮弹能量的改变而变化是非常有意义的。早期的研究主要集中于低能^[1-2]和高能反应^[3-4]。靶碎裂产物的截面和反冲性质的测量是广泛用于重离子反应机制研究的技术。

在低能($E \leq 10$ MeV/核子)实验中大量地使用放射化学技术, 目的在于揭示发生的反应过程, 例如全融和、非全融和、弹性散射、深部弹性散射等。同样, 在高能($E \geq 200$ MeV/核子)重离子反应中, 剩余核的电荷、质量分布以及前后(反冲)比的放射化学测量有助于提出快速碰撞之后, 初始反应产物的热化和退激发的图像。

收稿日期: 2007-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(10575118), 中国科学院优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金项目

作者简介: 袁双贵, 兰州市南昌路 509 号中国科学院近代物理研究所, 研究员, 研究方向为实验核物理;

E-mail: yuansg@impcas.ac.cn

对于早期的中能反应所完成的大部分实验, 只涉及轻发射碎片的能谱测量。

实验显示, 当入射炮弹的 $E \geq 200$ MeV/u 时, 质量数为 70~170 的同位素产生截面与入射炮弹的能量无关, 对各种能量的炮弹, 缺中子和丰中子产物的电荷和同位素分布几乎相同^[3]。在中能炮弹引起的反应中, 产物的产生截面与入射炮弹的能量显示出强烈的依赖关系^[5-6]。因此, 更好地了解在这些炮弹能量下的核反应机制, 需要更多的实验数据。目前, 关于在中能区截面测量的研究报道较少^[7]。本工作拟利用 60 MeV/u ^{18}O 离子与 ^{232}Th 反应, 通过放射化学分离和 γ 谱学测量, 得到放射性 Ba 同位素的产生截面。

1 实验

实验在中国科学院近代物理研究所重离子加速器 (HIRFL) 上进行。用该加速器提供的 60 MeV/u ^{18}O 离子束流轰击天然 Th 靶 (ThO_2), 靶材料为 ThO_2 粉末, 每个 Th 靶重 50 mg, 用 6.0 mg/cm² 的铝箔包裹。平均束流强度为 30~40 nA。每个靶持续照射 20 min~4.0 h。照射结束后, 用气动传输装置将辐照后的 ThO_2 靶传送到 30 m 远的放射化学实验室, 进行化学处理。

从 Th 靶中分离、纯化 Ba 的化学流程如下。

1) 往烧杯中加入 7 mL 浓 HNO_3 (含 0.05 mol/L HF) 和 0.1 mL Ba (5 mg) 载体溶液, 在电炉上加热至沸, 将照射过的 ThO_2 粉末和铝收集箔一同放入烧杯, 不断搅拌, 直至 ThO_2 粉末完全溶解。

2) 将靶和收集箔溶液转入 50 mL 离心试管中。用少量浓 HNO_3 清洗烧杯后, 将此溶液一并转入离心试管中。把该试管放入冰水浴中, 加入 1 mL 浓 HCl 和 0.1 mL Ba 载体, 5 min 后离心, 弃去上层清液。

3) 往试管中加入数滴热的去离子水后, 将试管放入沸水中, 用玻璃棒不断搅拌, 直至 BaCl_2 沉淀溶解。

4) 将试管从沸水中取出, 放入冰水中冷却, 并加入 6 mL 5:1 的 HCl-乙醚溶液, 搅拌, 5 min 后离心沉淀, 弃去上层清液。

5) 重复步骤 3) 和 4), 完成第 3 次 BaCl_2 沉淀, 最后用一个可拆卸过滤漏斗过滤 BaCl_2 沉淀, 制成固体 Ba γ 源, 用于 γ 计数。

用 ^{133}Ba 作为示踪剂, 确定 Ba 的化学产额。通过全流程, Ba 的化学产额约为 80%。

用一台高纯 Ge 探测器, 连同 γ 数据获取系统在低本底铅室中完成 Ba 样品源的 γ 射线单谱测量。用一套混合 γ 放射源做系统的能量刻度。该探测器对 ^{60}Co 1 332 keV 峰的能量分辨为 2.1 keV, 探测器效率为 60%。用 PC-CAMAC 多参数数据获取系统记录 γ 射线

单谱, 数据储存在磁盘中。用标准 ^{252}Eu 源确定探测器的光电效率。通过一套微机 γ 射线解谱程序对 Ba 同位素 γ 射线进行分析。

根据每个 Ba 同位素特征 γ 射线的能量和强度, 在 Th 靶厚度、束流强度、Ba 同位素半衰期、特征 γ 射线活度和全能峰面积及其他相关数据的基础上, 确定反应中 Ba 同位素的产生截面。

2 结果和讨论

图 1 是实验中测得的 Ba 同位素的 γ 射线单谱。从图 1 可以看出, 除 Ba 同位素及其子体的 γ 射线以及少量 Sr 同位素的 γ 射线外, 未发现其他杂质元素的 γ 射线。这说明, 本实验使用的从 Th 中分离 Ba 的化学流程可以有效地去除其他杂质元素。

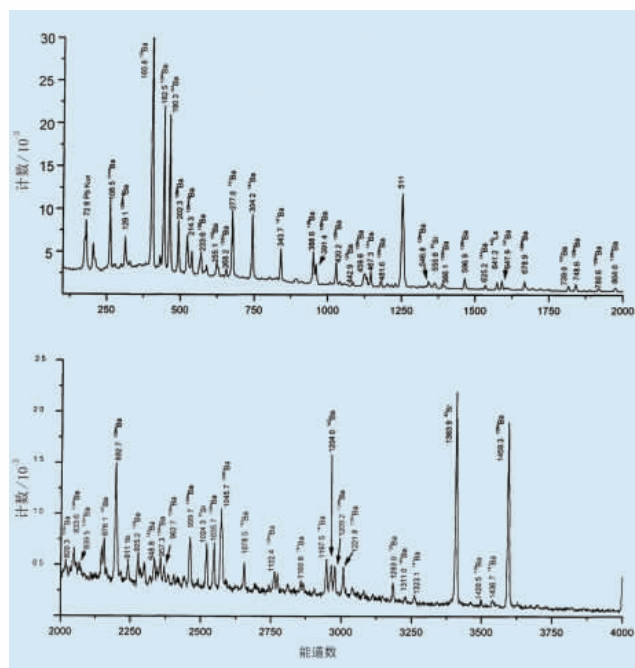


图 1 从 60 MeV/u ^{18}O 离子照射过的 ^{232}Th 靶分离出的 Ba 样品的 γ 射线单谱

Fig. 1 γ -ray spectra of the Ba fraction separated from ^{232}Th irradiated with 60 MeV/u ^{18}O ions

表 1 给出了 60 MeV/u ^{18}O 离子与 ^{232}Th 反应得到的 Ba 同位素的产生截面。从表 1 可以看出, 在 ^{18}O 与 ^{232}Th 的反应中, Ba 同位素的产物除了丰中子 Ba 以外, 还有许多缺中子 Ba 同位素, 特别是 ^{126}Ba 。McGaughey 等^[4] 测量了高能 ^{12}C 和 ^{20}Ne 离子与 ^{238}U 反应放射性 Ba 同位素的产生截面, 但他们仅给出了 4 种 Ba 同位素的截面数据, 对缺中子 Ba 同位素仅测得 ^{128}Ba 的截面。Manohar 等^[8] 在 79 MeV 的 ^{12}C 离子轰击 ^{232}Th 靶的质量

表 1 Ba 同位素的生成截面和衰变性质
Table 1 Production cross sections and the decay properties for Ba isotope

核 素	半衰期	能量/keV	分支比/%	截面/mb
^{126}Ba	1.67 h	233.6	20.4	0.9 ± 0.3
^{127}Ba	12.7 m	114.8	9.26	2.0 ± 0.3
^{128}Ba	2.43 d	442.9	25.8	3.3 ± 0.7
$^{129\text{m}}\text{Ba}$	2.13 h	202.3	16	2.1 ± 0.4
$^{129\text{s}}\text{Ba}$	2.20 h	220.8	6.0	2.9 ± 0.4
$^{131\text{m}}\text{Ba}$	14.6 m	108.5	55.2	2.9 ± 0.6
$^{131\text{g}}\text{Ba}$	11.8 d	496.3	47.1	6.1 ± 1.2
$^{133\text{m}}\text{Ba}$	38.9 h	276.1	17.5	4.3 ± 0.8
$^{135\text{m}}\text{Ba}$	28.7 h	268.2	15.6	2.7 ± 0.6
^{139}Ba	1.38 h	165.8	23.8	5.2 ± 0.8
^{140}Ba	12.75 d	537.3	24.4	7.5 ± 1.3
^{141}Ba	18.27 m	304.2	25.0	5.3 ± 0.8
^{142}Ba	10.7 m	948.8	11	2.0 ± 0.4

分布研究中,仅给出了 2 个 Ba 同位素(^{139}Ba 和 ^{140}Ba)的累计截面。Lee 等^[9]在中能(240 MeV) ^{12}C 与 ^{238}U 反应电荷和质量分布的研究中,给出了 Ba 同位素的截面,其中绝大部分也都是累计截面,对缺中子 Ba 同位素,同样也仅给出 ^{128}Ba 的截面。从表 1 可以看出,在 ^{18}O 离子与 ^{232}Th 的反应中,本工作测得的 Ba 同位素的产生截面从缺中子 ^{126}Ba 直到丰中子 ^{142}Ba ,其跨度达 16 个质量数。

Lee 等^[9]把质量-产额曲线分成 A、B 和 C 3 个组分,并把这 3 部分的产额归因于不同的反应机制。其中,组分 A 是丰中子的产物,来自低激发裂变过程,例如几个核子转移引起的裂变,库仑诱发裂变,以及来自次级反应的裂变;组分 B 和 C 都是缺中子产物,它们来自高激发非周边碰撞过程。融合裂变和快裂变产生组分 B,而组分 C 可能来自高能继发裂变过程。

Yu 等^[7]在中能 ^{12}C 与 ^{238}U 的反应中,用放射化学法测量了碘同位素的独立产额。发现碘同位素产额分布曲线由两个重叠的高斯曲线组成。对产额曲线和它们的反冲性质进行分析,结果显示缺中子碘来自非平衡过程,丰中子碘来自常规的低能裂变过程。他们的实验结果清楚地证实,在中能反应中,根据反应产物产生截面的数据,可以更深入地对反应机制进行了解。遗憾的是本工作得到的 Ba 同位素的截面都是累计截面,不能观测到 Ba 同位素产额曲线的双高斯现象。

3 结论

1) 通过对 Ba 样品 γ 射线单谱的分析发现,除了 Ba 和 Sr 同位素的 γ 射线外,没有发现其他杂质元素的 γ 射线。这清楚地说明,本实验使用的从 Th 中分离 Ba 的化学流程能非常有效地去除其他杂质元素。

2) 在中能反应中,根据反应产物产生截面的数据,可以更深入地对反应机制进行了解。由于本工作得到的 Ba 同位素的产生截面都是累计截面,不能观测到 Ba 同位素产额曲线的双高斯现象。

致谢:本工作得到了中国科学院近代物理研究所重离子加速器实验室(HIRFL)全体工作人员的支持与帮助,在此表示真诚的谢意。

参考文献 (References)

- [1] Le BEYEC Y, LEFORT M, SARDA M. Nuclear reaction induced by ^{12}C and ^{16}O on ^{208}Tl and ^{209}Tl [J]. Nucl Phys, 1972, 192: 405-416.
- [2] CHO S Y, CHUNG Y H, PORILE N T. Target residues from the interaction of copper with 35 MeV/nucleon ^{12}C ions [J]. Phys Rev, 1987, C36: 2349-2357.
- [3] LOVELAND W, LUO CHENG, McGAUGHEY P L, *et al.* Target fragment and momenta in the reaction of 4.8 GeV ^{12}C and 5.0 GeV ^{20}Ne with ^{238}U [J]. Phys Rev, 1981, C24: 464-475.
- [4] McGAUGHEY P L, LOVELAND W, MORRISSEY D J, *et al.* Uranium target fragmentation by intermediate and high energy ^{12}C and ^{20}Ne [J]. Phys Rev, 1985, C31: 896-909.
- [5] de SAINT-SIMON M, OTTO R J, SEABORG G T. Relative thresholds for production of iodine isotopes from fusion and transfer-induced fission reactions [J]. Phys Rev, 1978, C18: 1651-1662.
- [6] ZENG Z, BORDERIE B, GARDES D, *et al.* Further experimental evidence for fast fission[J]. Nucl Phys, 1984, 422: 447-460.
- [7] YU Y W, LEE C H, MOODY K J, *et al.* Yield and recoil properties of iodine isotopes from the interaction of 240 MeV ^{12}C with ^{238}U [J]. Phys Rev, 1987, C36: 2396-2402.
- [8] MANOHAR S B, GOSWAMI A, REDDY A V R, *et al.* Mass distribution in ^{12}C induced fission of ^{232}Th [J]. Radiochim Acta, 1992, 56: 69-71.
- [9] LEE C H, YU Y W, LEE D, *et al.* Charge and mass distribution from the reaction of 240 MeV ^{12}C ions with ^{238}U [J]. Phys Rev, 1988, C38: 1757-1766.

(责任编辑 朱宇)