

60MeV/u ^{18}O 离子同天然铀反应 ^{236}Th 的产生截面*

杨维凡¹⁾ 徐岩冰 丁华杰 袁双贵

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 用 60MeV/u ^{18}O 离子轰击天然铀靶, 通过 ^{238}U -2p 多核子转移反应产生丰中子类靶同位素 ^{236}Th . 从复杂的反应产物和大量的铀中放射化学分离、纯化钍, 用 HPGe 探测器联同多道分析器测量分离出的钍部分. 根据 642.2keV, 687.6keV 和 229.6keV 特征 γ 射线, 指定 ^{236}Th 同位素; 确定 ^{236}Th 同位素的产生截面为 $250\pm 50\mu\text{b}$.

关键词 ^{18}O 离子 天然铀靶 ^{236}Th 多核子转移反应 放射化学分离

1 引言

扩大核素图目前的边界是核物理的主要任务之一. 在过去的几十年间, 已经合成并鉴定了大量的缺中子和丰中子同位素. 到目前为止, 直到 $Z=80$, 已经到达质子滴线. 而丰中子同位素一边则相反, 仅 $Z=10$ 接近中子滴线. 特别是 $A\geq 170$ 的重丰中子核区, 目前核素图的边界离中子滴线还很远. 在 Volkov 等人^[1] 早期的工作中首次发现, 通过多核子转移过程能产生新的丰中子同位素. 在 ^{40}Ar 离子同钍靶的相互作用中, 他们鉴别了一系列当时还没有观察到的低于 Ar 元素的同位素. 德国 GSI 在线质量分离器上所做的一系列实验中, 利用多核子转移反应鉴别铪-铜区^[2, 3]、重镧系^[4, 5] 和铜系^[6] 的新丰中子同位素. 他们的实验说明, 在 ^{136}Xe 和 Ta/W 靶之间发生的多核子转移反应对超经典裂变区新丰中子同位素的产生是特别重要的. 兰州近代物理研究所合成、鉴别新重丰中子同位素 $^{(208,209)}\text{Hg}$ ^[7, 8], ^{239}Pa ^[9], ^{186}Hf ^[10] 和 ^{238}Th ^[11] 的实验研究也指出, 重靶核和中能炮弹之间发生的多核子转移反应是合成质量 $A\geq 170$ 的未知丰中子同位素的非常有用的工具.

到目前为止, 用放射化学方法获得的来自多核子转移反应 $A\geq 170$ 丰中子类靶同位素产生截面的实验数据是比较缺乏的. 为了获得相关的数据, 特别是中能反应的截面数据, 仍需要做更多的实验. 也许根据

这样的数据能对未知重丰中子同位素的产额进行估计.

本文提供 60MeV/u ^{18}O 离子同厚天然铀靶反应, 同位素 ^{236}Th 截面测量的实验细节.

2 实验

2.1 照射

在近代物理研究所兰州重离子研究装置 (HIREL) 上完成照射. 照射中所用的天然铀靶 [$(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ 粉末] 的厚度为 $\sim 1.5\text{g}/\text{cm}^2$. ^{18}O 离子束流的能量为 60MeV/u, 照射期间, ^{18}O 离子的束流强度为 30—40nA, 对每个天然铀靶持续照射时间约为 100min. 取道 ^{238}U -2p 多核子转移反应产生近靶同位素 ^{236}Th . 照射结束以后, 用气动传输装置将每个铀靶快速传送到 30m 远的放化实验室, 以便进行化学处理.

2.2 化学分离

照射结束后, 从大量铀和其他反应产物中放射化学分离、纯化 Th. 流程如下:

照射过的天然铀粉末首先在 1.2mol/L 的 HNO_3 溶液中溶解, 接着用 0.05mol/L PMBP-苯溶液从 HNO_3 溶液中萃取出 Th. 然后, 用 4.0mol/L HNO_3 溶液从分离出的有机相中反萃出 Th.

反萃以后, 将反萃水相转入到含 Fe^{3+} 载体的离心

* 国家自然科学基金(10575118)和中国科学院资助

1) E-mail: ywf@impcas.ac.cn

试管中, 往该试管加浓氨水, 直至碱性. 离心 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀.

用稀 HNO_3 溶解 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀, 用PMBP-苯溶液再次萃取Th, 重复从 HNO_3 溶液中反萃取Th以及 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀的步骤.

为了进行 γ 活性测量, 最后通过过滤制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀的Th固体源, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀能定量地载带微量的Th. 用 ^{234}Th 示踪剂确定Th的化学产额. 完成全过程后, Th的化学产额为70%左右.

2.3 放射性测量

照射结束后大约10min, 完成化学分离. 用一台HPGe探测器联同脉冲高度分析器, 在铅室中完成Th固体源的 γ 活性测量. 用一套混合 γ 放射源做系统的能量刻度. 该探测器对 ^{60}Co 1332keV峰的能量分辨为2.1keV, 探测器效率为60%. 用标准 ^{252}Eu 源确定探测器的光电效率. 用PC-CAMAC多参数数据获取系统^[12]记录 γ 射线单谱; 通过一套微机 γ 射线解谱程序分析测得的 γ 射线谱数据.

3 结果和讨论

图1给出从照射的铀靶中分离出的Th部分的 γ 射线单谱. 在图1中可清楚地观察到642.2keV, 687.6keV和229.6keV 3条 γ 射线. 前两条 γ 射线来自 ^{236}Th 的子体 ^{236}Pa 的衰变, 另一条 γ 射线来自 ^{236}Th 的衰变. 因为在 ^{238}U 靶的照射期间直接产生的Pa同位素通过化学流程已经与Th完全分离, Th固体源中的 ^{236}Pa 活性应当完全来自 ^{236}Th 的衰变. 图1中除了229.6keV的 γ 射线之外, ^{236}Th 较强的 γ 射线都被其他Th同位素的干扰.

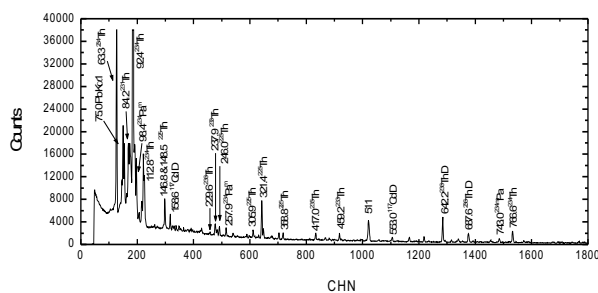


图1 从照射的铀靶中分离出的Th部分的 γ 射线单谱

从图1可以看出, 除了Th同位素和它的子体Pa的 γ 射线外, 仅有两条 γ 射线158.6keV和553.0keV, 它们均来自 ^{117}Cd 的子体 ^{117}In . 这说明本实验所用的化学流程能从复杂的反应产物中除去绝大部分干扰元

素, 得到的Th源是很干净的.

根据Th靶的厚度, 照射结束时 ^{236}Th 的活度, 束流强度以及化学产额等, 计算 ^{236}Th 的产生截面. 在天然U靶和 ^{18}O 炮弹之间的反应中, 确定 ^{236}Th 的产生截面为 $250 \pm 50 \mu\text{b}$.

使用厚靶产生低靶丰中子核素的研究比较少. Zychor等^[13]分别用 ^{40}Ar , ^{84}Kr 和 ^{136}Xe 束流轰击厚W靶, 完成了产生Hf, Lu同位素的一系列研究. 结果显示同位素分布丰中子一侧的行为能用部分统计平衡模型进行解释. 未知丰中子Hf, Lu同位素相当高的产额揭示了上述转移反应能用于产生更丰中子的Hf, Lu同位素.

Zhang Li等^[14]给出了 $^{18}\text{O}+^{208}\text{Pb}$ 反应中获得的丰中子Hg同位素厚靶平均产生截面对基态反应 Q 值 Q_{gg} 的图(省略). 丰中子Hg同位素厚靶平均产生截面的 Q_{gg} 系统性说明取道转移反应能产生丰中子Hg同位素.

图2显示厚靶重丰中子类靶剩余的平均产生截面对不同出射道 $-2p+Xn$ 的图象. 该图引用了不同反应体系的实验数据, 以便进行系统比较. 从图2可以看出, 这些数据不合乎系统分析. 实验结果之间的一致可能来自不同炮弹的质量和能量, 特别是靶核(或炮弹)不相似的结构. 一般来说, 重丰中子类靶剩余的平均产生截面粗略地随炮弹质量的增加而增加, 随转移到靶核或炮弹中的中子数的增加而减少.

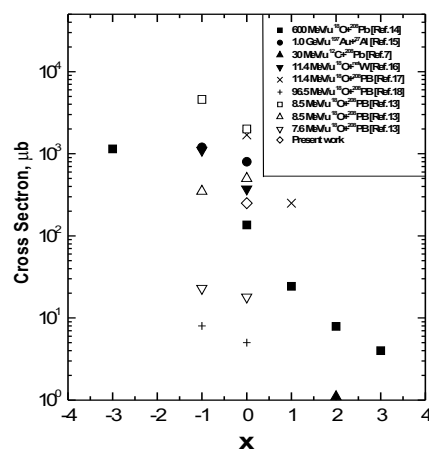


图2 重靶剩余的产生截面对不同出射道 $-2p \pm Xn$ (即“X”不同)作图

本实验所用的炮弹 ^{18}O 与参考文献[14]的相同, 但 ^{236}Th 的截面显然高于参考文献[14]中 ^{206}Hg 的, 尽管这两个同位素都来自相同的 $-2p$ 出射道. 上述截面的差异似乎可以用双闭壳核 ^{208}Pb 有比较高的结合能来解释. 参考文献[14]的数据显示, 若重丰中子Hg近

靶剩余核增加2—3个中子, 它们的产生截面(厚靶平均)会降低一个量级或更多. 看来对特定的反应体系,

粗略地估计未知重丰中子类靶剩余的产生截面是有可能的.

参考文献(References)

- 1 Artukh A G, Avdeichikov V V, Gridnev G H et al. Nucl. Phys., 1976, **A176**: 284
- 2 Runte E, Schmidt-Ott W D, Tidemand-Petersson P. Nucl. Phys., 1983, **A399**: 163
- 3 Bosch U, Schmidt-Ott W D, Runte E et al. Nucl. Phys., 1988, **A477**: 89
- 4 Rykaczewski K, Kirchner R, Kurcewicz W et al. Z. Phys., 1983, **A309**: 273
- 5 Becker K, Meissner F, Schmidt-Ott W D et al. Nucl. Phys., 1991, **A522**: 557
- 6 Gippert K L, Runte E, Schmidt-Ott W D et al. Nucl. Phys., 1986, **A453**: 1
- 7 ZHANG LI, JIN Gehming, ZHAO Jin-Hua et al. Phys. Rev., 1994, **C49**: 592
- 8 ZHANG L, ZHAO J H, ZHENG J W et al. Eur. Phys., 1998, **JA2**: 5
- 9 YUAN S, YANG W, MOU W et al. Z. Phys., 1995, **A352**: 235
- 10 YUAN Shang-Gui, YANG Wei-Fang, LI Zong-Wei et al. Phys. Rev., 1998, **C57**: 1506
- 11 XIONG Bing, YANG Wei-Fan, YUAN Shuan-Gui et al. J. Radioanal. Nucl. Chem., 1999, **242**: 163
- 12 DU Y, JIAO D, YIN X. IMP Annu. Rept., 1990, 123
- 13 Zychor I, Rykaczewski K, Kurcewicz W. Nucl. Phys., 1984, **A414**: 301
- 14 ZHANG Li, ZHAO Jin-Hua, ZHENG Ji-Wen et al. Phys. Rev., 1998, **C58**: 156
- 15 Schmidt K H, Brohm T, Clerc H G et al. Phys. Lett., 1993, **B300**: 313
- 16 Wennemann Ch, Schmidt-Ot W D, Hild T et al. Z. Pyhs., 1994, **A347**: 185
- 17 Bruchle W, Bellwied R. GSI Sci. Rep., 1985, 86-1 (1986) 36
- 18 Moody Kenton J, Diana Lee, Robert B et al. Phys Rev., 1986, **C33**: 1315

Production Cross-Section of ^{236}Th in the Interaction of ^{238}U with $60\text{MeV/u } ^{18}\text{O}$ Ions *

YANG Wei-Fan¹⁾ XU Yan-Bing DING Hua-Jie YUAN Shuang-Gui

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract The neutron-rich target-like isotope ^{236}Th was produced in ^{238}U -2p multinucleon transfer reaction between a $60\text{MeV/u } ^{18}\text{O}$ beam and nature ^{238}U targets. The thorium activities were radiochemically separated from the mixture of uranium and reaction products. The isotope ^{236}Th was identified by 642.2keV, 687.6keV and 229.6keV characteristic γ -rays. The production cross section of ^{236}Th has been determined to be $250\pm 50\mu\text{b}$.

Key words ^{18}O beam, nature uranium target, ^{236}Th , multinucleon transfer reaction

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10575118)

1) E-mail: ywf@impcas.ac.cn