

铪的新同位素： $^{186}\text{Hf}^*$

何建军 袁双贵 杨维凡 李宗伟 马桃桃 方克明 沈水法
甘再国 潘强岩 陈展图 郭天瑞 牟万统 苏登贵 徐岩冰
郭俊胜 刘洪业 石立军 赵之正 马惠芳

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 利用兰州重离子加速器提供的 $60\text{MeV}/u$ 的 ^{18}O 离子束轰击天然钨靶, 通过奇异的多核子转移反应生成 ^{186}Hf . 采用快速放射化学分离技术从钨及反应产物的混合物中分离出铪, 由高纯锗 (HPGe) 探测器测量样品的 γ 活性, 观测到了 ^{186}Hf 的子体 ^{186}Ta γ 活性的生长、衰变行为. 由此表明: 本实验首次合成并鉴别了重丰中子新核素 ^{186}Hf , 并测定它的半衰期为 $(2.6 \pm 1.2)\text{min}$.

关键词 厚靶 多核子转移反应 放射化学分离 生长和衰变

1 引言

随着远离 β 稳定线核素的相继发现, 逐渐将尚待发现的核素推移到较为困难的区域. 在核素图上, 质量数 $A > 170$ 的丰中子区留下了相当大的一片空白. 造成该核区新核素合成和研究进展缓慢的主要原因是, 缺少有效的生成机制和分离、鉴别手段.

人们对中能重离子反应进行较为系统研究的历史不长, 国内外的有关研究结果表明, 中能重离子核反应的明显特点之一是以相当大的截面生成质量数连续的且分布很宽的近靶产物^[1], 这部分产物主要产生于弹和靶有部分重叠的周边反应过程中. 周边过程之有利之处是, 有可能使类靶余核处于较低激发能, 从而使产物分布比较靠近丰中子一侧^[2,3]; 选择中子较为富集的重同位素做靶, 反应过程中靶核失去1个或2个质子的同时, 再得到几个中子, 就可以产生比靶质子数低1到2个单位的重丰中子新核素. 中能重离子反应的又一特点是, 具有强的穿透能力和在较宽能量范围内有相对稳定的生成截面. 本所张立、袁双贵等人曾成功地利用中能重离子多核子转移反应, 在靶余核中, 合成并鉴别了 ^{208}Hg ^[4] 和 ^{239}Pa ^[5], 证明了这一反应机制对合成 $A > 170$ 重丰中子核素是可行的.

在本工作以前, 袁双贵等人用快中子引起的反应合成了丰中子铪的同位素 ^{185}Hf ^[6]. 本

1998-01-04收稿, 1998-02-19收修改稿

* 国家自然科学基金(19775055)和中国科学院资助

文介绍使用多核子转移反应、快化分离和衰变 γ 谱学方法,对更丰中子的铪同位素 ^{186}Hf 的首次鉴别.

2 实验

2.1 照射

实验是在中国科学院近代物理研究所的兰州重离子研究装置(HIRFL)上完成的.用 $60\text{MeV}/\text{u}$ ^{18}O 离子束轰击天然钨靶,纯度99.85%的粉末,为增加目标核的产额,使用 $1.5\text{g}/\text{cm}^2$ 的厚靶.束流强度为20—40nA.每个靶子被持续照射10min,通过多核子转移($^{186}\text{W}: -2\text{p} + 2\text{n}$)这一奇异反应机制生成新核素 ^{186}Hf .

2.2 化学分离

照射结束后,用自动快速靶辐照传输装置将靶子传送到30m远的化学实验室进行放射化学分离,其流程如下:

(1) 在塑料杯中加入7ml浓 HNO_3 和浓Hf的混合溶液(体积比为3:4,其中Hf为载体),放入照射过的W粉,待W粉完全溶解后,加几滴La,将溶液转入一个塑料管中进行离心处理;

(2) 将离心处理后的溶液转入一预先加入15ml甲基异丁基酮的分液漏斗中.萃取时间20s,分出水相;

(3) 将水相放入一玻璃离心试管中,加入2.5ml饱和的 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液并充分搅拌,然后离心出 BaHfF_6 沉淀;

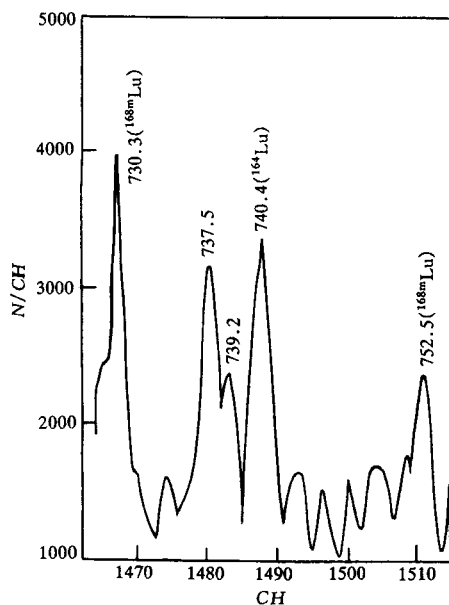
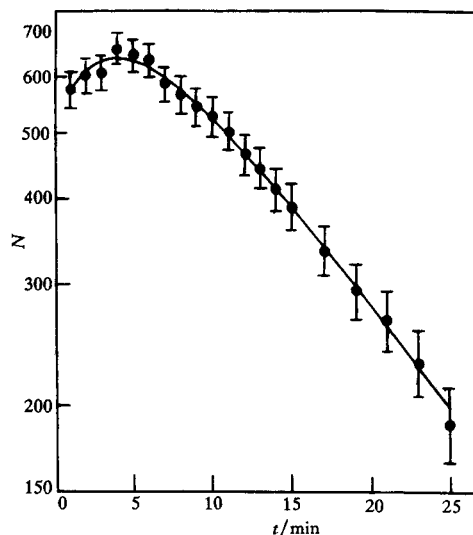
(4) 将沉淀物再用10ml HNO_3 和HF的混合溶液洗沉淀一次,离心处理后,将沉淀过滤,制成固体源用于 γ 谱测量.

2.3 测量

照射结束后约7min,用一台效率为25%的GMX HPGe探测器(该探测器用 ^{60}Co 源进行刻度,对1332keV γ 射线的分辨率为2.0keV)和PC-CAMAC多参数数据获取系统对分离后的Hf样品进行 γ 射线的时间序列谱测量.为了减小本底,源和探测器放在一屏蔽铅室内.由于这一核区几乎为100% β^- 衰变^[7], ^{186}Hf 的子体应为 ^{186}Ta ,而已知 ^{186}Ta 的半衰期为10.5min^[7,8],为观测子体 ^{186}Ta γ 射线可能的生长和衰变行为,每个样品持续测量了25min,为了增加统计,实验重复进行了50次.

3 实验结果

应该指出的是,化学分离工作的去污因子是很高的,分离Hf的流程几乎除去了所有的杂质,在 γ 射线谱中显示出清楚的Hf及其子体核素的 γ 射线(由于化学方法进行的是元素分离,因此Hf及其子体衰变链都会出现),但其中缺中子的Hf和它们的子体(通过EC、 β^+ 衰变)放出的 γ 射线占绝对的优势,这就给我们分析截面较小的新核素及其子体的衰变

图 1 分离 Hf 样品的部分 γ 谱图 2 ^{186}Ta 737.5keV γ 射线的生长衰变曲线

γ 线的鉴别工作带来很大的困难. 根据已知的 γ 射线能量、强度和半衰期^[8]及其母、子体衰变的规律, 我们对 γ 射线谱进行了观测, 结果在 γ 射线谱中, ^{186}Ta 最强的两条 γ 线 (197.9keV 和 214.9keV) 以及较强的 122.3keV γ 线, 都处于 γ 谱的高本底低能区, 再加上邻近的杂质 γ 峰的干扰, 很不干净; 而处于较高能区的能量为 737.5keV 和 739.2keV 两条 γ 射线清晰可见. (图 1) 仔细跟踪 737.5keV 射线峰, 发现这一峰有明显的生长、衰变行为 (图 2). 根据放射性核素的衰变规律^[9], 可以肯定 737.5keV γ 射线有一部分是来自于母体间接产生的 (^{186}Hf 通过 β^- 衰变到 ^{186}Ta , 然后 ^{186}Ta 衰变到 ^{186}W 时放出此 737.5keV γ 射线.), 而另一部分是由 ^{186}Ta 自身产生的 (这是由于化学分离对 Ta 的去除是不可能绝对完全的, 同时从分离结束到测量开始, 尽管时间很短, 但也使得一部分母体 ^{186}Hf 衰变到子体 ^{186}Ta). 利用递次衰变程序拟合实验数据得到母、子体的半衰期分别是 (2.6 ± 1.2) min 和 (10.0 ± 1.0) min, 后者同 ^{186}Ta 的文献值 10.5min 一致^[7,8], 前者同质子-中子准粒子随机相近似方法^[10] (考虑了 Gamow-Teller 剩余相互作用, 利用 Moller-Nix 质量公式进行计算) 对 Hf 的预言值 2.3min 符合得很好. 这一实验结果足以证明本实验首次合成并鉴别了重丰中子新核素 ^{186}Hf .

感谢兰州重离子加速器全体工作人员在实验中的密切合作和大力支持.

参 考 文 献

- [1] Loveland W et al. Nucl Phys., 1987, A471(1,2):175c—190c
- [2] Daniel Guerreau et al. Nucl Phys., 1986, A447:37c—66c
- [3] Mcgaughey P L et al. Phys Rev., 1985, C31(3):896—909
- [4] Zhang Li et al. Phys Rev., 1994, C49(2):592—596

- [5] Yuan Shuanggui et al. *Z. Phys.*, 1995, **A352**(3):235—236
- [6] Yuan Shuanggui et al. *Z. Phys.*, 1993, **A344**:355—356
- [7] Dai Guangxi et al. *Chart of Nuclides (in Chinese)*, 1987, 8—31
(戴光曦等. 核素图册, 1987, 8—31)
- [8] Firestone R B. *Nucl Data Sheets*, 1988, **55**(4):583—610
- [9] Lu Xiting et al. *Nuclear Physics*. Beijing: Atom Energy Press (in Chinese), 1981, 28—31
(卢希庭等. 原子核物理, 1981, 28—31)
- [10] Staudt A et al. *Atomic Data and Nucl Data Tables*, 1990, **44**(1):79—132

A New Isotope of Hafnium: $^{186}\text{Hf}^*$

He Jianjun Yuan Shuanggui Yang Weifan Li Zongwei Ma Taotao
Fang Keming Shen Shuifa Gan Zaiguo Pan Qiangyan
Chen Zhantu Guo Tianrui Mou Wantong Su Denggui Xu Yanbing
Guo Junsheng Liu Hongye Shi Lijun Zhao Zhizheng Ma Huifang

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

Abstract 60MeV / u ^{18}O ion beam delivered by the Heavy Ion Research Facility in Lanzhou (HIRFL) bombarded the natural tungsten targets. The ^{186}Hf was produced by multinucleon transfer reactions. The hafnium fraction was separated radiochemically from the mixture of tungsten and the reaction products. The γ activity was measured with a HPGe detector. The growth and decay of ^{186}Ta γ -rays has been observed, which indicates the ^{186}Hf as a parent of ^{186}Ta were produced. The half-life of ^{186}Hf has been determined to be $(2.6 \pm 1.2)\text{min}$.

Key words thick target, multinucleon transfer reaction, radiochemical separation, growth and decay

Received 4 January 1998, Revised 19 February 1998

* Supported by the National Nature Science Foundation of China (19775055) and the Chinese Academy of Sciences