

中能重离子与^{nat}W 相互作用中 Hf 的同位素分布

张 翔 李文新 尹新民 孙彤玉

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

安部静子 大久保嘉高 岩本正子 小林羲男 H. Maeda 安部文静

(理化学研究所, 日本田崎玉县和光市 351-01)

用放射化学方法测量了 40MeV/u ⁴⁰Ar、10.5MeV/u ⁸⁴Kr、80MeV/u ¹⁶O、135MeV/u ¹²C + ^{nat}W 反应中 Hf 的生成截面, 得到了 Hf 的同位素分布。研究表明, 利用 HIRFL 能量的重离子和丰中子重靶作用, 能以一定的截面生成 A > 170 区丰中子新核素, N/Z 值高的炮弹有利于丰中子新核素的生成, 过高的炮弹能量对丰中子新核素的生成没有贡献。

关键词 中能重离子 γ 能谱法 ^{nat}W Hf 同位素分布

近年来, A > 170 区丰中子新核素的合成引起了人们的广泛兴趣, 利用低能重离子炮弹和丰中子重靶之间的多核子转移反应已合成了若干个 A > 170 区丰中子新核素^[1-3]。高能重离子与重靶²⁰⁹Bi 作用, 得到低靶产物 Au 的同位素分布^[4], 迄今, 尚未见到合成丰中子新核素的中能重离子和重靶相互作用中余核生成研究的报道。最近, 中国科学院近代物理研究所的研究人员完成了 47MeV/u ¹²C 离子与重靶²⁰⁹Bi 和¹³³Cs 反应时低靶产物的同位素分布^[5,6], 并由此外推丰中子核素的截面, 从而估计合成丰中子新核素的可能性。

本工作采用经典的放射化学方法, 利用日本 RIKEN 加速器产生的重离子轰击天然钨靶, 通过测量靶核分裂两个质子的产物 Hf 同位素的生成截面, 研究中能重离子与重靶相互作用中丰中子重同位素生成的系统性, 为将来利用 HIRFL 能量的中能重离子合成 A > 170 区丰中子新核素提供有益的数据。选择^{nat}W 做靶子是因为它有复杂的稳定同位素(0.126%¹⁸⁰W、26.3%¹⁸²W、14.28%¹⁸³W、30.64%¹⁸⁴W、28.64%¹⁸⁶W), 其中稳定同位素¹⁸⁶W 已伸入到丰中子核区, 具有较高的 N/Z 值, 是合成 A > 170 区丰中子新核素的理想靶材料。

收稿日期: 1995-01-18 收到修改稿日期: 1995-03-29

1 实验方法

实验是在日本的 RIKEN 加速器上完成的。采用放射化学的厚靶技术设计靶子。分别用加速器提供的 $40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 、 $10.5\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr}$ 、 $80\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 、 $135\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 束流照射天然金属钨靶。照射结束后,通过 Falling Ball Irradiation System 迅速将靶子转移到化学实验室,然后将照射过的靶子进行化学分离。

用沉淀和萃取法从复杂的反应产物中分离 Hf。首先在照射过的钨靶中加入 10mg Hf 载体,再用浓 HF 和 HNO_3 溶解靶子。待靶子完全溶解后,往溶液中滴加清扫剂 Sm 溶液以沉淀镧系元素,离心分离,弃去沉淀。往溶液中加入 $1\text{ml } 10\text{mg/ml}$ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液,使 Hf 以 BaHfF_6 的形式形成沉淀。用饱和的 H_3BO_3 和 HNO_3 溶解沉淀,然后,将溶液调节为 10mol/l HNO_3 、 1% H_2O_2 ,用 25% HDEHP-甲苯从溶液中萃取 Hf。接着,用 1mol/l HF- 1mol/l HNO_3 从有机相中反萃 Hf。最后,再将 Hf 以 BaHfF_6 的形式从溶液中沉淀出来,制源、测量。

对经化学分离的样品及直接测量样品进行 γ 放射性测量。用 BOB 程序进行 γ 能谱分析。放射性核素鉴别及截面计算是在中国科学院近代物理研究所的 VAX 计算中心按文献[7]描述的方法完成的。根据电荷分布的假设得到核素的独立产额^[8],计算截面所用的核数据引自文献[9]。

2 结果和讨论

2.1 截面

本工作共测到了 Hf 的 13 个同位素的截面。缺中子同位素测到 ^{166}Hf ,丰中子同位素测到 ^{183}Hf ,未观测到 ^{184}Hf 的放射性。实验中所得到的截面数据列入附表。

附表 重离子与 ^{238}W 反应中 Hf 同位素的独立产额

10^{-31}m^2

核素	$10.3\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr} + ^{238}\text{W}$	$40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar} + ^{238}\text{W}$	$80\text{MeV/u } ^{16}\text{O} + ^{238}\text{W}$	$135\text{MeV/u } ^{12}\text{C} + ^{238}\text{W}$
^{166}Hf	8.47 ± 0.89			
^{167}Hf	24.1 ± 3.91			
^{168}Hf	34.4 ± 3.44	22.0 ± 2.20	38.4 ± 3.93	
^{169}Hf	29.8 ± 9.67			
^{170}Hf	53.4 ± 5.34	27.3 ± 3.02	51.4 ± 5.14	36.3 ± 3.63
^{171}Hf	30.0 ± 5.66	26.0 ± 4.43	42.1 ± 5.60	28.2 ± 2.82
^{173}Hf	25.3 ± 2.53	30.0 ± 3.00	49.5 ± 6.16	36.2 ± 3.62
^{175}Hf		26.4 ± 2.84	47.7 ± 5.20	37.8 ± 3.78
$^{177}\text{Hf}^m$	0.32 ± 0.03			
$^{179}\text{Hf}^{m_2}$			0.58 ± 0.08	
$^{180}\text{Hf}^m$	0.90 ± 0.16	0.60 ± 0.10	0.49 ± 0.10	0.48 ± 0.08
^{181}Hf		1.39 ± 1.44	1.54 ± 0.38	
^{183}Hf	1.80 ± 0.61		0.31 ± 0.18	

2.2 $135\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 、 $80\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 、 $40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 与 ^{238}W 反应中 Hf 的同位素分布

图 1 分别为 $135\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 、 $80\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 、 $40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 与 ^{238}W 反应中 Hf 的同位素分布。由于 $^{16}\text{O} + ^{238}\text{W}$ 反应进行了短照射(6min),所以测得了较多的 Hf 的丰中子同位素截面数据。比较三个核反应中 Hf 的同位素分布可以看出,它们具有相似的形状,缺中子同位素的截

面变化较大,而丰中子同位素的截面变化不大。 $135\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 、 $80\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 引起的反应中,Hf的缺中子同位素 ^{170}Hf 、 ^{171}Hf 、 ^{173}Hf 及 ^{175}Hf 的独立产额之和分别为 $1.38 \times 10^{-29}\text{m}^2$ 和 $1.91 \times 10^{-29}\text{m}^2$,而 $40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 与 ^{183}W 反应中,Hf的缺中子同位素 ^{170}Hf 、 ^{171}Hf 、 ^{173}Hf 及 ^{175}Hf 的独立产额之和为 $1.09 \times 10^{-29}\text{m}^2$ 。

由于三个反应中所测到的Hf的丰中子同位素的截面没有太大的变化,而炮弹能量的提高却导致大量缺中子同位素的生成,这对丰中子同位素的分离与鉴别是非常不利的。因此,对于丰中子同位素的合成来讲, $40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 束流要优于 $135\text{MeV/u } ^{12}\text{C}$ 和 $80\text{MeV/u } ^{16}\text{O}$ 束流。导致这种结果有两方面的原因,其一是 ^{12}C 和 ^{16}O 离子的能量高于 ^{40}Ar 离子的能量,另一个原因是 ^{40}Ar 的 N/Z 值(1.22)高于 ^{12}C 和 ^{16}O 的 N/Z 值(1.00)。

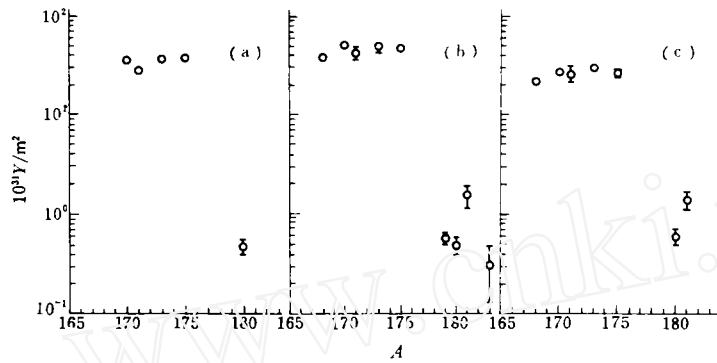


图1 重离子与¹⁸³W相互作用中Hf的同位素分布

(a)—— $135\text{MeV/u } ^{12}\text{C} + ^{183}\text{W}$, (b)—— $80\text{MeV/u } ^{16}\text{O} + ^{183}\text{W}$, (c)—— $40\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar} + ^{183}\text{W}$ 。

2.3 10.5MeV/u ⁸⁴Kr、11.8MeV/u ⁴⁰Ar与¹⁸³W反应中Hf的同位素分布

图2是 $10.5\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr}$ 、 $11.8\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 与 ^{183}W 反应中Hf的同位素分布。其中, $11.8\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar} + ^{183}\text{W}$ 反应的数据引自文献[10]。从图2可以看出, $10.5\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr}$ 与 ^{183}W 反应中Hf的缺中子同位素的截面高于 $11.8\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ 与 ^{183}W 反应中Hf的缺中子同位素的截面,但是,丰中子核素的截面亦有更明显的提高。 ^{40}Ar 束流引起的反应中, ^{183}Hf 的截面为 $8.5 \times 10^{-32}\text{m}^2$; $^{84}\text{Kr} + ^{183}\text{W}$ 反应中 ^{183}Hf 的截面为 $1.8 \times 10^{-31}\text{m}^2$,是 ^{40}Ar 反应中 ^{183}Hf 截面的二倍。在新核素合成中,新核素的生成是更为关键的因素。因此,对丰中子同位素的生成来讲, ^{84}Kr 束流要优于 ^{40}Ar 束流。主要原因是 ^{84}Kr 的 N/Z 值(1.33)大于 ^{40}Ar 的 N/Z 值(1.22)。

根据上面的分析,对丰中子同位素的生成来讲, N/Z 值愈大的炮弹将愈有利于丰中子核素的生成。可以预见,在HIRFL能区合成 $A > 170$ 区丰中子新核素中,由HIRFL加速的 ^{136}Xe ($N/Z = 1.48$)束流将是非常有希望的离子。

根据文献[10]的结论,缺中子同位素和丰中子同位素起源于不同的反应机制,丰中子同位素可能是直接相互作用的产物,而缺中子同位素则来源于非完全熔合或类复合核反应。根据反应机制,起源于同一反应机制的同位素可以用同一高斯函数拟合,因此,Hf的缺中子同位素和丰中子同位素的独立产额应当用不同的高斯曲线拟合。正如从图2中看到的,将丰中子和缺中

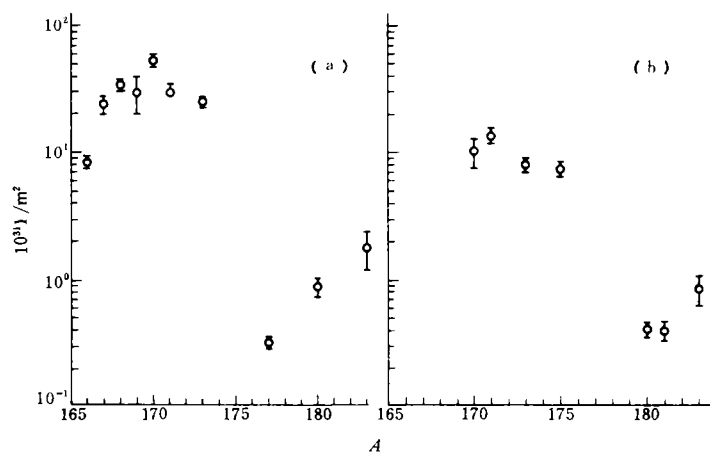


图 2 重离子与 ^{180}W 相互作用中 Hf 的同位素分布
(a)—— $10.5\text{MeV/u } ^{84}\text{Kr} + ^{180}\text{W}$, (b)—— $11.8\text{MeV/u } ^{40}\text{Ar} + ^{180}\text{W}$.

子同位素用单一高斯拟合不仅理论上缺乏根据,而且也不符合实验结果。

由于本工作采用天然钨靶,它有 5 个稳定同位素,这样 Hf 的缺中子同位素和丰中子同位素的拟合曲线应当分别是多个高斯曲线的迭加。但是,本工作中除 ^{84}Kr 的反应外,其它反应中只测得了不多的几个基本上处于峰位的 Hf 的缺中子同位素,而丰中子同位素的数据更少。因此,用高斯函数拟合会有很大的偏差,如果再用这种曲线外推未知丰中子同位素的产额更是不可取的。由此可见,由于 Hf 丰中子同位素产额相当低,在目前实验条件下,要得到丰中子 Hf 同位素的更完整的数据仍有相当困难,因此,尚不能可靠地给出远离稳定线新核素生成截面的预言值。但是,进一步改善实验条件以得到比较完整的丰中子同位素的数据,用同位素分布曲线外推丰中子核素的截面是可能的。

3 结 论

(1)在 HIRFL 能区重离子与重靶相互作用中,缺中子同位素生成截面占有绝对优势。因此,要成功地合成和鉴别丰中子新核素必须消除缺中子同位素的干扰。例如,使用质量分离器进行质量分离,用放射化学方法进行元素分离,测量可以用 X- γ 符合。

(2)炮弹过高的入射能量对丰中子新核素生成无明显贡献,相反,却极大地增加了缺中子同位素产额。 N/Z 值高的炮弹有利于丰中子核素的生成,依此类推,HIRFL 加速出的 ^{136}Xe 束流是合成 $A > 170$ 区丰中子新核素的有希望的炮弹。

参 考 文 献

- 1 Kirchner R, Klepper O, Kurcewicz W, et al. New Neutron-Rich ¹⁷⁸Yb and ^{181,182}Lu Isotopes Produced in Reactions of 9MeV/u ¹³⁶Xe Ions on Tantalum and Tungsten Targets. Nucl Phys A, 1984, 414 (1):15.
- 2 Rykaczewski K, Kirchner R, Kurcewicz W, et al. The New Neutron-Rich Isotope ¹⁸³Lu. Z Phys A, 1983, 309(3):273.
- 3 Rykaczewski K, Gippert KL, Kaffrell N, et al. Investigation of Neutron-Rich Rare-Earth Nuclei Including the New Isotopes ¹⁷⁷Tm and ¹⁸⁴Lu. Nucl Phys A, 1989, 499 (2/3):529.
- 4 Aleklett K, Morrissey DJ, Loveland W, et al. Energy Dependence of ²⁰⁹Bi Fragmentation in Relativistic Nuclear Collisions. Phys Rev C(3), 1981, 23:1044.
- 5 杨维凡, 赵之正, 李宗伟, 等. 47MeV/u ¹²C 同 ¹³³Cs 反应中碘同位素产额的测定. 高能物理与核物理, 1993, 17(10):873.
- 6 李宗伟, 赵之正, 杨维凡, 等. 中能¹²C离子同厚铋靶反应中近靶产物的产额测定. 核化学与放射化学, 1994, 16(3):178.
- 7 李文新, 孙彤玉. 核化学研究中 γ 能谱测量和分析. 原子能科学技术, 1990, 24(2):60.
- 8 孙彤玉, 李文新, 吴定清, 等. 20-40MeV/u ¹²C离子和铜的相互作用中靶余核的研究 I. 靶余核的产额及其分布. 核化学与放射化学, 1993, 15(2):65.
- 9 Reus U, Westmeier W. Catalog of Gamma Rays From Radioactive Decay. At Data Nucl Data Tables, 1983, 29(2):195.
- 10 张翔, 李文新, 孙彤玉, 等. 6.3-24.6MeV/u ⁴⁰Ar + ⁿW 反应中 Hf 的生成研究. 高能物理与核物理, 待发表.

ISOTOPIC DISTRIBUTIONS OF Hf FROM THE INTERACTION OF HEAVY IONS WITH ⁿW

ZHANG XIANG LI WENXIN YIN XINMIN SUN TONGYU
(*Institute of Modern Physics, the Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

S. AMBE Y. OHKUBO M. IWAMOTO Y. KOBYASHI H. MAEDA F. AMBE
(*Institute of Physical and Chemical Research, Wako, Saitama 351-01, Japan*)

ABSTRACT

The yields of known Hf isotopes produced in 40MeV/u ⁴⁰Ar, 10.5MeV/u ⁸⁴Kr, 135MeV/u ¹²C and 80MeV/u ¹⁶O + ⁿW reactions are determined by combining chemical separation procedure with γ -ray spectroscopic measurement. The isotopic distributions are obtained. The results show that it is possible to use HIRFL energetic heavy ions to synthesize the neutron-rich isotopes in $A > 170$ region, and the projectiles with high N/Z ratio value seem to be favourable to the discovery of new neutron-rich isotopes. However, increasing the projectile energy is not always helpful to synthesize the new neutron-rich isotopes.

Key words Intermediate energy heavy ion γ -ray spectrometry ⁿW Hf Isotopic distribution.