

文章编号: 1007-4627(2005)01-0034-03

## 元素指定是鉴别重丰中子核的重要手段\*

徐岩冰, 袁双贵, 杨维凡, 丁华杰, 牛雁宁

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 简单地介绍了远离 $\beta$ -稳定线重质量丰中子核的合成和研究的科学意义, 报告了元素指定对远离 $\beta$ -稳定线重丰中子核研究的重要作用.

**关键词:** 元素指定; 重要作用; 重丰中子核

**中图分类号:** O571.21      **文献标识码:** A

### 1 引言

在重质量丰中子区, 包括一个具有重要意义的  $A=225$  附近的八极形变区, 存在着与天体物理紧密相关的一个 $\beta$ 延发裂变( $\beta$ DF)岛<sup>[1]</sup>和一个 $\beta$ 延发中子先驱核素岛<sup>[2]</sup>. 另外, 该区内许多原子核具有过渡性质, 比如,  $A\approx 185-190$  的核, 由于中子轨道和质子轨道转动排列的驱动效应和竞争, 使其出现带交叉和形状共存等复杂现象, 涉及理论和实验前沿的许多热点问题. 又如, 该区包括一些重质量稀土核, 它们可能存在非轴对称形变和反射非对称形变, 所以通过对其低位能级研究来分析原子核基态形状一直是一个令人感兴趣的物理课题. 因此, 重丰中子同位素的合成和研究, 不仅可对远离 $\beta$ 稳定线同位素的核结构、核衰变性质, 尤其是奇异性质的研究提供非常有用的数据<sup>[3, 4]</sup>, 而且对天体物理具有重要价值<sup>[5-7]</sup>. 为了对重丰中子新核素进行深入研究, 首要的问题就是从实验上对其进行鉴别.

### 2 元素指定

对于远离 $\beta$ 稳定线核素, 可以用一种特定类型的核反应来产生特殊区域的放射性同位素. 使用较轻的中能重离子和快中子束流轰击丰中子重靶核(厚靶), 通过多核子转移及重靶的耗散碎裂反应和中子诱发反应, 从类靶余核中, 生成重丰中子远离核的反应机制来产生目标核, 是一种非常有用的技

术. 与此同时, 建立相应的特殊分离鉴别装置. 这样, 目标核及其产生过程存在如下特点: (1) 反应产物反冲动能很低; (2) 使用厚靶; (3) 目标核大都属于高温难熔元素; (4) 目标核的寿命估计相对较长. 这 4 个特点决定了我们采用元素分离技术来实现目标核的分离. 就是说, 反应产物反冲动能很低加之厚靶的使用, 目标核不能够冲出靶子, 这就根本不存在利用电磁设备的可能性. 即使目标核可以冲出靶子, 但其高温难熔的特点也给电磁方法的挑选造成了困难. 而我们采用的元素分离方法是在离束条件下进行的, 这就不要求目标核冲出靶子, 同时, 它不受温度的约束.

#### 2.1 放射化学分离

通常采用化学分离技术来实现元素分离. 化学分离方法是一种效率最高的分离技术之一, 其化学产额通常可以达到 60%, 这对我们来讲, 是特别重要的, 因为在远离核的生成中, 产额问题是一个根本性的关键问题. 当然, 化学分离过程比电磁方法慢得多, 但我们选定的目标核的寿命估计相对较长, 为整个化学分离流程所需的时间提供了条件. 总之, 利用放射化学分离方法可以克服分离这一重大技术困难. 由于化学分离技术属于元素分离, 故与目标核同元素(即  $Z$  相同)的核素是没有办法分开的. 也就是说, 在分离目标核的同时, 它们也伴随而来. 所以, 我们以  $\gamma$  谱学方法对目标核进行鉴别. 一般来讲, 一种未知核素的子体是已知的, 因

收稿日期: 2004 - 08 - 31

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

作者简介: 徐岩冰(1940-), 男(汉族), 山东胶南人, 在读博士生, 从事核结构的实验研究; E-mail: ybx@impcas.ac.cn

此, 我们利用了母子体关系, 通过观测已知子体  $\gamma$  谱, 由其特征  $\gamma$  线的增长和衰变行为, 就确定了  $A$  值, 从而就把该核素指定了下来. 用这样的方法, 我们陆续对  $^{185, 186} \text{Hf}$ ,  $^{237, 238} \text{Th}$  和  $^{239} \text{Pa}$  5 种重丰中子核进行了观测, 测定它们的半衰期分别为 3.5, 2.6, 5.0, 9.4 和 106 min, 同时获得了它们的一些衰变  $\gamma$  射线. 另外, 探讨了  $^{230} \text{Ac}$  的  $\beta$  延发裂变现象, 初步获得它的  $\beta$  延发裂变几率为  $(1.19 \pm 0.85) \times 10^{-8}$ .

## 2.2 X- $\gamma$ 符合

在某些情况下, 采用化学分离又是相当困难的, 甚至是做不到的, 这就必须利用 X- $\gamma$  符合方法来代替. 例如, 在  $^{175} \text{Er}$  的工作中, 化学分离的弱点就显露出来了, 这主要是由下面两个因素造成的: (1)  $^{175} \text{Er}$  的寿命相对较短(我们的实验得到它的半衰期为 1.2 min); (2)  $^{175} \text{Er}$  是由 14 MeV 中子轰击天然铽靶通过  $^{176} \text{Yb}(n, 2p)$  反应产生的, 因此, 靶核以及反应产物全部属于稀土元素, 它们具有相似的化学性质, 难以在短时间内用化学分离方法把铽元素从大量的靶物质及反应产物中分离出来. 所以, 我们以 X- $\gamma$  符合技术, 借助于特征 X 射线, 进行了铽元素的指定, 再结合  $\gamma$ - $\gamma$  符合测量, 完成了这个实验. 发现了  $^{175} \text{Er}$  衰变中能量为 76.5, 120.9, 123.7, 128.5, 227.3, 234.0, 281.4 和 1167.5 keV, 半衰期为  $(1.2 \pm 0.3)$  min 的 8 条新  $\gamma$  线, 建议了  $^{175} \text{Er}$  的部分衰变纲图.

又如, 由于  $^{229} \text{Ra}$  衰变的 95% 以上馈送到  $^{229} \text{Ac}$  的低位态<sup>[8]</sup>, 且很可能大部分落到  $^{229} \text{Ac}$  的基态, 这样, 产生的  $\gamma$  射线就非常少. 所以, 在  $^{229} \text{Ra}$  的衰变性质观测中, 虽然做了化学分离, 但仍不能进行其

$\gamma$  谱观测, 再加上 X- $\gamma$  符合技术, 结合  $\gamma$ - $\gamma$  符合测量, 才得到了满意的结果. 观测到了属于  $^{229} \text{Ra}$  衰变的能量分别为 14.5, 15.6, 18.8, 21.8, 22.5, 44.0, 47.5, 55.0, 63.0, 69.6, 93.6, 94.1, 98.5, 102.2, 104.5, 106.1, 161.1 和 171.5 keV 的 18 条新  $\gamma$  射线, 建议了  $^{229} \text{Ra}$  的部分衰变纲图, 并观测到了  $^{229} \text{Ac}$  的八极形变行为.

化学分离还存在一个缺点, 即对靶破坏性方法. 在我们最近  $^{197} \text{Os}$  的工作中, 目标核  $^{197} \text{Os}$  是由 14 MeV 中子照射天然铂, 通过  $^{198} \text{Pt}(n, 2p)^{197} \text{Os}$  反应而产生的. 由于铂材料十分昂贵, 限制了化学方法的使用. 所以, 该工作也是利用 X- $\gamma$  符合技术来进行铽元素指定的. 结合  $\gamma$ - $\gamma$  符合测量, 获得了能量为 41.2, 50.7, 196.8, 199.6, 223.9, 233.1, 250.2, 342.1, 403.6 和 406.4 keV 10 条新  $\gamma$  射线, 并指定为  $^{197} \text{Os}$  的衰变. 测定它的半衰期为  $2.8 \pm 0.6$  min, 建议了一个  $^{197} \text{Os}$  的部分衰变纲图.

应当指出, 不是所有情况都可以这么做, 而是仅仅对于少数情况才可以利用这一方法, 它至少要满足两个条件: (1) 待观测样品中杂质相对不是很强, 也不是很复杂, 使得比较容易识别特征 X 射线; (2) 目标核的衰变  $\gamma$  射线的内转换系数不是很低, 以发射较多的 X 射线来满足 X- $\gamma$  符合的需要.

## 3 小结

总之, 元素指定在重丰中子远离核研究中是一种有用的技术, 放射化学分离方法和 X- $\gamma$  符合技术是元素指定的有效手段, 它们各自具有自己的优势, 其作用是相辅相成的.

## 参 考 文 献:

- [1] Berlovich E Ye, Novikov Yu N. Phys Lett, 1969, **B29**: 155.
- [2] 杨澄中. 核物理动态, 1985, **2**(1): 1.
- [3] Jain A K, Sheline R K, Sood P C, *et al.* Rev Mod Phys, 1990, **62**: 393.
- [4] Leander G A, Chen Y S. Phys Rev, 1988, **C37**: 2744.
- [5] Rauscher T, Thielemann F K, Kratz K L. Phys Rev, 1997, **C56**: 1613.
- [6] Thielemann F K, Metzinger J, Klapdor H V. Z Phys, 1983, **A309**: 301.
- [7] Klapdor H V. Fortschr Phys, 1985, **33**: 1.
- [8] Westgaard L, Aleklett K, Nyman G, *et al.* Z Phys, 1975, **A275**: 127.

(下转第 57 页)

134.

Nuclear Data Tables, 1979, 23: 315.

[7] Zhu Sheng-yun. *Hyperfine Interactions*, 1993, 79: 633.[9] Bengt Lindgren. *The Manual of DEPAACK program version* 990113.[8] Dafni E, Bienstock R, Rafailovich H, *et al.* *Atomic Data and*

## Study of Quadrupole Interactions in Nano-LaFeO<sub>3</sub> Perovskites by Time Differential Perturbed Angular Correlation\*

DU En-peng<sup>1</sup>, GE Zhi-gang<sup>1</sup>, ZHENG Yong-nan<sup>1</sup>, ZHOU Dong-mei<sup>1</sup>, ZUO Yi<sup>1</sup>, YUAN Da-qing<sup>1</sup>,  
WANG Ping-sheng<sup>1</sup>, DUAN Xiao<sup>1</sup>, SHI Hai-song<sup>1</sup>, WANG Jian-bo<sup>2</sup>, LI Fa-shen<sup>2</sup>, ZHU Sheng-yun<sup>1</sup>

(1 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China;*

2 *Key Laboratory of Magnetism and Magnetic Materials, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** The quadrupole interactions in the nano-and crystalline LaFeO<sub>3</sub> perovskites have been investigated by TDPAC. The TDPAC probing nuclei <sup>140</sup><sub>57</sub>La-<sup>140</sup><sub>58</sub>Ce were produced through the nuclear reaction <sup>139</sup>La (n, γ)<sup>140</sup>La at the CIAE heavy water experimental reactor. One electric quadrupole interaction was detected for each material, which is assigned to the La site. The quadrupole interaction frequencies of 687.4, 698.3 and 742.9 Mrad/s with a distribution coefficient of 0.014, 0.009 and 0.001 were observed at room temperature for the 20 and 40 nm nano-LaFeO<sub>3</sub> and crystalline LaFeO<sub>3</sub>, respectively. The fitting yielded the EFG asymmetry parameter η=0, which indicates that the principal axes of the EFG is aligned with the crystallographic axes. The experimental results show that the structure of crystalline LaFeO<sub>3</sub> is rhombohedral, the changing of the structure towards the orthorhombic structure takes place from the crystalline LaFeO<sub>3</sub> to the nano-LaFeO<sub>3</sub>, and the smaller the nano-grain size, the larger the change. The frequency distribution is caused by the perturbation of the neighboring atoms, and thus, the distribution coefficient increases with decreasing the nano-grain size and the crystalline LaFeO<sub>3</sub> arrives at its maximum.

**Key words:** TDPAC; quadrupole interaction; LaFeO<sub>3</sub> nano-material

(上接第 35 页)

## Importance of Element Assignment for Identifying Heavy Neutron-rich Nuclides\*\*

XU Yan-bing, YUAN Shuang-gui, YANG Wei-fan, DING Hua-jie, NIU Yan-ning

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

**Abstract:** The significance of the synthesis and study of heavy neutron-rich nuclides far from β-stability is briefly introduced. The important role of element assignment for studying heavy neutron-rich nuclides far from β-stability is reported.

**Key words:** element assignment; important role; heavy neutron-rich nuclide

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10275097)

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