

# 内转换效应在稀土区丰中子 新核素鉴别中的应用\*

张学谦 袁双贵 杨维凡 李宗伟 牟万统  
于 暹 罗亦孝 郭天瑞

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1996-01-31 收稿

## 摘 要

用 14 MeV 中子轰击天然镱靶, 通过  $^{176}\text{Yb}(n, 2p)$  反应产生了新核素  $^{175}\text{Er}$  的活性. 由于丰中子核  $^{175}\text{Er}$  衰变  $\gamma$  跃迁有较大的内转换系数, 因而伴随其衰变产生了较强子核 Tm 的特征 X 射线, 因此, 本工作借助于 X- $\gamma$ -t,  $\gamma$ - $\gamma$ -t 符合测量技术并结合对反应道的分析, 成功地从复杂反应产物中鉴别出稀土新丰中子同位素  $^{175}\text{Er}$  的活性, 并首次建议了该核素的部分衰变纲图.

**关键词** 丰中子核, 稀土元素, 内转换效应, 衰变纲图.

## 1 引 言

丰中子远离核的研究不仅在核衰变和核结构的研究中具有重要意义, 而且在天文学中也得到了广泛应用. 在天文物理学中, 自然界十分丰中子核的较大丰度以及钷、铀区天然核素的合成已被归因于快中子俘获( $r$ )过程<sup>[1]</sup>. 而  $r$  过程路径决定于丰中子核的中子俘获和  $\beta$  衰变(包括  $\beta$  衰变半衰期,  $Q_\beta$  值和缓发中子及缓发裂变几率). 正因为如此, 丰中子远离核的合成和研究已经成为近年来原子核物理学中最具吸引力和最活跃的前沿领域之一.

但是对于稀土区重丰中子核素, 不论是其合成机制还是鉴别手段, 目前都存在着较大困难, 因此该区的新核素合成工作一直进展缓慢.

人们曾发现利用快中子与重靶核相互作用形成的熔合蒸发反应或直接过程, 是合成丰中子核素的一种有效方法. 我们首次鉴别的新丰中子核素  $^{185}\text{Hf}$ <sup>[2]</sup> 和  $^{237}\text{Th}$ <sup>[3]</sup> 就是通过快中子引起的  $(n, 2p)$  反应产生的, 上述反应截面值虽然很低(约  $20\mu\text{b}$ ), 但是可以通过使用高的中子通量和大的靶量产生足够的可观测的目标核. 由于化学分离方法不受目标核高熔点的限制, 且分离效率很高, 故能有效地从复杂的反应产物中成功地分离出目标

\*国家自然科学基金和中国科学院八五重大项目双重资助.

元素,因而在合成和鉴别上述两种丰中子核素的工作中起到了关键作用.

本工作通过 14 MeV 中子照射天然镱靶,利用(n, 2p)反应产生了稀土区目标核  $^{175}\text{Er}$  的活性,但也随之产生了大量其它稀土区干扰元素.在现有的实验条件下,如采用化学分离方法就很难在短时间内从邻近稀土产物中干净地提取出 Er 元素,因为稀土元素的化学性质彼此非常相似.另外,在实验中,我们使用了厚靶来增加  $^{175}\text{Er}$  的活性,可是在上述反应中  $^{175}\text{Er}$  具有小的反冲动能,不能有效地从靶中反冲出来,而且 Er 元素具有高的熔点,不易从在线同位素分离器热离子源中扩散释放,因而也就很难用电磁方法进行直接分离.因此,为了合成和研究新丰中子核  $^{175}\text{Er}$ ,我们必须寻找一种新的有效鉴别手段.

X- $\gamma$ 符合技术是一种利用核素特征 X 射线来有效鉴别核素 Z 值的方法.它既可以运用于缺中子区,尤其是较重的缺中子区核素的鉴别,也可以运用于丰中子区核素的鉴别.但是丰中子核产生 X 射线的机制一般来说不同于缺中子核.它的 X 射线不是伴随电子俘获过程而是伴随内转换现象产生的.因而利用特征 X 射线对丰中子核素指定 Z 值的关键是伴随其衰变的  $\gamma$  跃迁要有较大的内转换系数.在系统分析稀土丰中子  $^{175}\text{Er}$  核附近核素性质时,发现一些丰中子核也是较强的特征 X 射线的发射体而且具有一定的规律性.更重要的一点是中子照射镱靶所形成的复合核不伴有裂变产生,因而其反应产物相对简单,可得到比较干净的 X 谱,使这一鉴别方法具有可行性.在本工作中,我们成功地将此方法运用于丰中子  $^{175}\text{Er}$  核素的鉴别.由于采用 X- $\gamma$ 符合方法大大避免了来自 Tm 及 Yb 元素同位素链上丰中子核素对  $^{175}\text{Er}$  衰变所发射  $\gamma$  测量的干扰,所以可以得到相对比较干净的 Er 同位素的符合  $\gamma$  射线谱,从而有效地鉴别出  $^{175}\text{Er}$  衰变所发射的  $\gamma$  射线.

## 2 实验步骤与实验结果

实验是在中国科学院近代物理研究所 600 kV 高压倍加器中子发生器上利用 14 MeV 中子进行的.中子的平均流强为  $2 \times 10^{11}$  n/s.通过  $^{176}\text{Yb}(n, 2p)$  反应产生  $^{175}\text{Er}$  活性.将约  $80 \text{ mg/cm}^2$  的天然镱靶照射 3 min 后,使用快速传送装置将其送到铅屏蔽室中进行测量.利用本所研制的新型多参数数据获取系统记录了 X- $\gamma$ -t,  $\gamma$ - $\gamma$ -t 事件谱.测量持续 5 min.与此同时,另一个靶被照射.一台  $\phi 32 \times 10 \text{ (mm)}^3$  的平面型高纯锗探测器用来探测 X 射线,它对  $^{133}\text{Ba}$  的 81 keV  $\gamma$  射线的能量分辨为 600 eV,一台 18% 和一台 33% 同轴型高纯锗探测器用来探测  $\gamma$  射线.它们的能量分辨都为 2.0 keV (对 1332 keV).在测量中,为了增大符合效率,作符合测量的两台探测器是采用面对面的几何位置放置.源与探测器的距离约为 1 cm.

图 1 为测得的 X 谱.从图 1 可见 Er 核素衰变子体 Tm  $K_{\alpha_2}$  X 射线峰是非常纯净的.在用此 X 射线开窗得到的符合  $\gamma$  谱中,根据  $\gamma$  射线的能量和半衰期以及分支比,在确认了 Yb 链缺中子核和已知 Er 同位素所发射的  $\gamma$  射线后,又发现了两条新  $\gamma$  射线 (234.0、1167.5 keV) (见图 2),以这两条未知  $\gamma$  射线为依据,通过分析  $\gamma$ - $\gamma$  符合谱,另辅以对时序谱的分析,又找到了其它 6 条新  $\gamma$  射线,并指定这 8 条新  $\gamma$  射线为新核素  $^{175}\text{Er}$  的衰

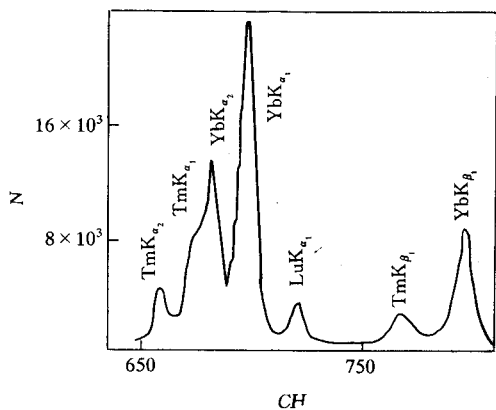


图1 测得的部分X谱

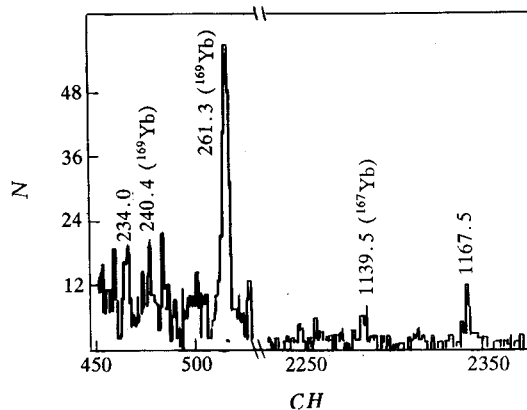


图2 与Tm K<sub>α2</sub>X射线符合的部分γ谱

变. 根据它们之间的符合关系、强度关系以及能量加和关系, 我们建议了一个<sup>175</sup>Er的部分衰变纲图(图3). 图3给出的<sup>175</sup>Tm部分能级的自旋和宇称是通过本实验结果与文献[4]利用<sup>176</sup>Yb(*t*, α)<sup>175</sup>Tm反应得到的<sup>175</sup>Tm能级比较而得到的.

<sup>175</sup>Er的鉴别及其纲图建立的依据在文献[5]中已详细报道过了, 这里不再重复. 有必要强调的一点是: 图3中120.9 keV γ跃迁被指定是M1(E2)类型跃迁, 通过实验测定此跃迁的内转换系数也证实了这一点, 其实验值为:

$$\alpha_{tot} = N_e / N_\gamma = 1.72 \pm 0.5.$$

正因为此跃迁有较大的内转换系数, 使我们才得以在现有条件下利用X-γ符合方法鉴别出稀土区丰中子新核素<sup>175</sup>Er并进而建议了它的衰变纲图.

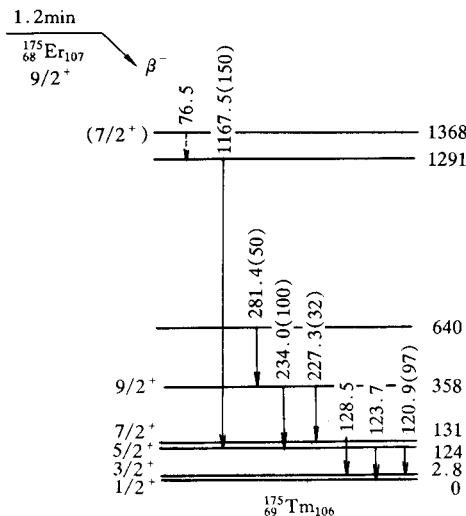


图3 <sup>175</sup>Er的部分衰变纲图

感谢本所高压倍加器强中子源人员的大力支持.

### 参 考 文 献

- [1] 戴光曦, 实验原子核物理, 原子能出版社(1995)p101.
- [2] Yuan Shuangui et al., Z. Phys., A344(1993)355.
- [3] Yuan Shuangui et al., Z. Phys., A346(1993)187.
- [4] Lpvhφiden. G et al., Nucl. Phys., A327(1976)64.
- [5] Zhang Xueqian, Yuan Shuangui et al., The γ decay of a new neutron-rich nucleus <sup>175</sup>Er, Z. Phys., to be published.

## Internal Conversion Effect Applications in Identifying New Neutron-Rich Nuclides in the Rare-Earth Region

Zhang Xueqian   Yuan Shuanggui   Yang Weifan   Li Zongwei  
Mou Wantong   Yu Xian   Luo Yixiao   Guo Tianrui

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

Received 31 January 1996

### Abstract

The new neutron-rich isotope  $^{175}\text{Er}$  activity was produced via the reaction  $^{176}\text{Yb}(n, 2p)$  by 14 MeV neutron irradiation of natural ytterbium metals. When nuclide  $^{175}\text{Er}$  decayed to its daughter nuclide  $^{175}\text{Tm}$ , Tm characteristic X rays would be emitted with a certain ratio due to the internal conversions. So X- $\gamma$  and  $\gamma$ - $\gamma$  coincidence measurements were employed to successfully identify the neutron-rich isotope activities of rare-earth element from other rare-earth reaction products. And a partial decay scheme of  $^{175}\text{Er}$  has been proposed for the first time.

**Key words** neutron-rich nuclide, rare-earth element, internal conversion effects, decay scheme.