

快报

# 合成和研究滴线区新核素 $\beta$ 延发质子 先驱核 $^{121}\text{Ce}^*$

谢元祥 徐树威 李占奎 马瑞昌  
葛元秀 王春芳 黄文学 张天梅

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

1997-01-24收稿

## 摘 要

利用  $^{32}\text{S}$  束轰击  $^{92}\text{Mo}$  靶, 熔合蒸发  $3n$  反应合成了  $^{121}\text{Ce}$ . 借助于具有  $\gamma(\text{X})$ - $p$ - $t$  符合测量的氦喷嘴反冲快速带传输系统进行分离和鉴别. 实验定出  $^{121}\text{Ce}$  的半衰期为  $(1.1 \pm 0.1)\text{s}$ , 观测到了  $^{121}\text{Ce}$  的延发质子谱并近似估计了延发质子分支比为  $(1.0 \pm 0.5)\%$ .

**关键词** 质子滴线, 新核素,  $\beta$  延发质子衰变,  $\beta$  延发质子先驱核.

## 1 引 言

极端条件下核素的产生及其性质的研究是当代原子核物理学前沿领域之一. 在远离  $\beta$  稳定线核素中, 滴线核及其奇异衰变性质尤为引人注目. 处于质子滴线的原子核, 除直接质子衰变外,  $\beta$  延发质子衰变是一种主要的衰变模式. 先驱核经过  $\text{EC}/\beta^+$  变成“发射体”, 如果其  $\text{EC}/\beta^+$  衰变能  $Q_{\text{EC}}$  大于“发射体”中质子的分离能  $Q_p$ , 且质子能量又足以克服库仑垒, “发射体”就可能发射质子. 到目前为止, 在缺中子稀土区已观测到三十多个  $\beta$  延发质子先驱核. 然而, 随着目标核越来越远离稳定线, 合成新的先驱核的截面越来越小, 其半衰期越来越短, 因而合成与鉴别这些核素并研究奇异衰变方式具有相当大的难度.

$^{121}\text{Ce}$  是偶  $Z$  奇  $N$  的核, 理论预言它是一个  $\beta$  延发质子先驱核<sup>[1]</sup>, 并且处于 S. Hofmann 预言的  $Z=0.743N+11.6$  的质子滴线区<sup>[2]</sup>. 偶  $Z$  奇  $N$  的先驱核发生  $\beta^+$  衰变, 布居到奇  $Z$  偶  $N$  的子核(即“发射体”)的高激发态上并发射质子. “发射体”发射质子后, 一般来说, 有相当大的几率布居在偶  $Z$  偶  $N$  的“女儿”核的激发态上, 最后由它的第一个  $2^+$  态通过  $\gamma$  跃迁而退激到  $0^+$  态(基态)<sup>[3]</sup>. 实验上利用延发质子与“女儿核”中已知的  $2^+ \rightarrow 0^+$  的  $\gamma$  射线符合就可以唯一地识别出延发质子先驱核. 我们采用这个方法成功地合成和研究

\* 中国科学院八五重大项目子课题及国家自然科学基金资助.

了滴线区的新  $\beta$  延发质子先驱核  $^{135}\text{Gd}$ <sup>[4]</sup>. 该鉴别方法与国外实验室常用的在线同位素分离器的方法相比, 其相对灵敏度提高约 50 倍. 对  $^{121}\text{Ce}$  而言, 通过测量延发质子与它的“女儿核”  $^{120}\text{Ba}$  中已知的  $2^+ \rightarrow 0^+$  的 186keV  $\gamma$  射线<sup>[5]</sup> 的符合即可指出  $\beta$  延发质子先驱核  $^{121}\text{Ce}$ .

## 2 实 验

实验是在中国科学院近代物理研究所兰州重离子加速器 SFC 上完成的. 从加速器引出的 171MeV 的  $^{32}\text{S}^{9+}$  束穿过 Havar 膜 ( $1.97\text{mg}/\text{cm}^2$ ) 进入到充氮气的靶室, 在损失了  $\sim 20\text{MeV}$  能量后轰击自支撑的  $2.05\text{mg}/\text{cm}^2$  厚度的同位素  $^{92}\text{Mo}$  靶 (丰度为 97.4%). 靶周围配有水冷装置. 束流强度约  $0.3\mu\text{A}$ . 通过氮喷嘴将反应产物喷溅到快速带传输系统的传送带上. 带子周期性地带反应产物传送到屏蔽区. 所用的气溶胶为  $\text{NaCl}$ , 加热炉的温度为  $630^\circ\text{C}$ . 毛细管长约 18m. 整个带系统的收集时间、等待时间和测量时间分别置为 3.3、0.1、3.2s. 一个高纯锗 (GMX) 探测器和一个平面型高纯锗探测器, 分别位于带子的两侧, 测量  $\gamma$  (X) 和 X ( $\gamma$ ) 射线. 在 GMX 探测器前放置了一个  $350\mu\text{m}$  的全耗尽金硅面垒探测器, 对质子进行测量. 用  $\text{Thc}-\text{Thc}'$  源的  $\alpha$  粒子对探测器进行了刻度.  $\gamma$  (X)- $p$ - $t$  的符合事件被记录在磁带上, 离线对数据进行了处理.

## 3 实验结果

图 1 给出了质子 (2.5—6.0MeV) 开门得到的 GMX 探测器的  $\gamma$  (X) 谱. 从 X 射线能量到正电子湮灭产生的 511keV 均显示在图上. 总共观察到有 9 个峰. 其中 8 个峰来源于已知的  $\beta$  延发质子先驱核:  $^{118}\text{Cs}$  (58.6、116.7、160.5、221.3keV)<sup>[6]</sup>,  $^{122}\text{La}$  (111、120keV)<sup>[7]</sup>,  $^{119}\text{Ba}$  (337.2keV)<sup>[8]</sup>,  $^{121}\text{Ba}$  (322.4keV)<sup>[9]</sup>. 第二强峰 185.8keV 的  $\gamma$  射线正是所期待的  $\beta$  延发质子先驱核  $^{121}\text{Ce}$  衰变产生的“女儿核”  $^{120}\text{Ba}$  中已知的第一个  $2^+$  态到基态  $0^+$  的  $\gamma$  跃迁. 峰值比本底高出 10 倍.

在 185.8keV  $\gamma$  射线及质子双重开门条件下观测 X ( $\gamma$ ) 谱. 结果在 La  $K_{\alpha}$  的 X 射线能量位置上看到了一个峰, 包含 7 个计数. 进一步验证了与 185.8keV  $\gamma$  射线符合的质子是  $^{121}\text{Ce}$  的 ( $\text{EC}+\beta^+$ ) 衰变的子核产生的. 对比“女儿”核中已知的  $\gamma$  射线和三重符合中的 X 射线峰位 (在  $^{119}\text{Ba}$  的情况下还提取了半衰期), 我们指出了图 1 中其他的  $\gamma$  峰所属的  $\beta$  延发质子先驱核, 文献上对  $^{118}\text{Cs}$  核已经观测到质子与 117、160、221keV  $\gamma$  射线的符合<sup>[10]</sup>. 但与 58.6keV 的  $\gamma$  射线符合未观测到. 337.2、322.4、111、210keV 等 4 条  $\gamma$

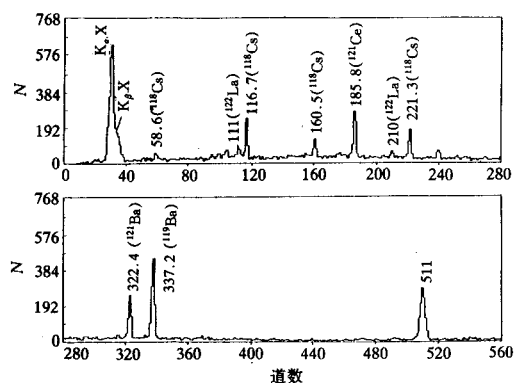


图1 质子 (2.5—6.0MeV) 开门的  $\gamma$  (X) 谱  
它们的能量 (keV) 和所属的先驱核已标记在图上.

射线分别来源于 $\beta$  延发质子先驱核 $^{119}\text{Ba}$ 、 $^{121}\text{Ba}$ 和 $^{122}\text{La}$ 的“女儿核”中低位能级到基态的跃迁. 它们与延发质子的符合是我们首次观察到的.

由质子开门的 185.8keV  $\gamma$  射线的衰变曲线在图 2(a) 给出. 用最小二乘法拟合的半衰期为  $(1.1 \pm 0.1)\text{s}$ , 与理论预言的 $^{121}\text{Ce}$ 的半衰期: 1.29s (Hilf), 1.51s (Groote)和 1.04s (Moeller) 相近<sup>[11]</sup>. 由 185.8keV  $\gamma$  射线开门的质子谱在图 2(b) 给出. 质子能量范围为 2.5—6.0MeV, 平均能量为 3.7MeV, 与 $^{125}\text{Ce}$ 、 $^{123}\text{Ce}$ 的平均能量 3.3MeV 和 3.6MeV 趋势一致<sup>[12]</sup>.

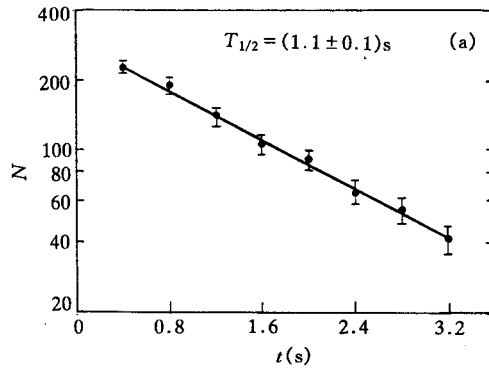


图2(a) 185.8keV $\gamma$ 射线的衰变曲线

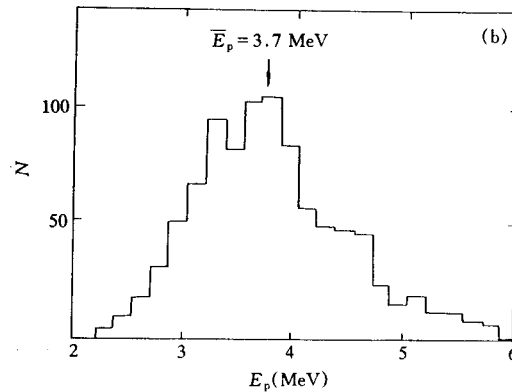


图2(b) 185.8keV $\gamma$ 射线开门的质子谱

由 ALICE 程序计算得到的 $^{121}\text{Ce}$ 和 $^{118}\text{Cs}$ 的产生截面分别为 0.1mb 和 10mb. 由文献

[10]可知 $^{118}\text{Cs}$ 的延发质子分支比为  $(4.2 \pm 0.6) \times 10^{-4}$ . 由 $\gamma$ 谱可得到 185.8keV 峰与属于 $^{118}\text{Cs}$ 的三个峰的相对强度比(考虑了 $\gamma$ 射线的效率差别), 再参考已知的 $^{123}\text{Ce}$ 的 $\beta$ 延发质子衰变数据<sup>[12]</sup>, 我们假定有 80%的 $^{121}\text{Ce}$ 的延发质子与“女儿核”中 185.8keV $\gamma$ 射线符合, 最后估算出 $^{121}\text{Ce}$ 核的 $\beta$ 延发质子分支比为  $(1 \pm 0.5)\%$ . 图 3 给出了 $^{121}\text{Ce}(\text{EC}+\beta^+)$ 衰变的部分衰变纲图. 其中 $Q_{\text{EC}}$ 值以及质子在 $^{121}\text{La}$ 中的分离能来自原子质量表<sup>[13]</sup>.

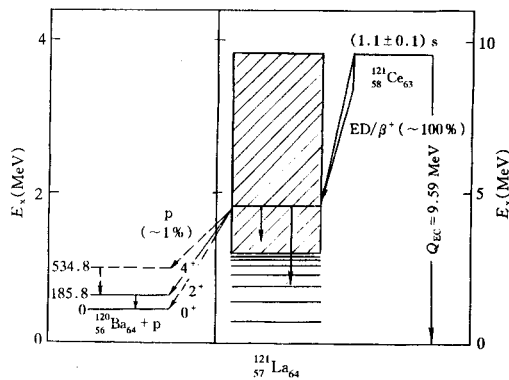


图3  $^{121}\text{Ce}$ 的 $\beta$ 延发质子衰变的部分衰变纲图

作者感谢德国 G.S.I 制靶实验室无偿提供 $^{92}\text{Mo}$ 同位素靶. 感谢兰州重离子加速器国家实验室 SFC 全体运行和维修人员提供高品质的 $^{32}\text{S}$ 重离子束.

### 参 考 文 献

- [1] J. C. Hardy, *Nucl. Data Tables*, 11(1972)237.
- [2] S. Hofmann, Proc. Int. Conf. on the Future of Nuclear Spectroscopy, Crete, Greece, (1993)p.255.
- [3] J. M. Nitschke et al., *Z Phys.*, A316(1984)249.

- [4] Xu Shuwei *et al.*, *Z Phys.*, **A356**(1996)227.
- [5] B. Cederwall *et al.*, *Z Phys.*, **A338**(1991)461.
- [6] R. S. Lee *et al.*, *Phys. Rev.*, **C32**(1985)277.
- [7] T. Tamura *et al.*, *Nucl. Data Sheets*, **64**(1991)323.
- [8] A. Kerek *et al.*, *Z Phys.*, **A317**(1984)169.
- [9] P. Chowdhury *et al.*, *Phys. Rev.*, **C25**(1982)813.
- [10] J. M. D'auria *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A301**(1978)397.
- [11] M. Hirsch *et al.*, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **53**(1993)165.
- [12] J. M. Nitschke *et al.*, Conf. Rosseau Lake (Nuclei far from stability)(1987)p.697
- [13] J. Jänecke, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **17**(1976)455.

## Synthesis and Study of the New $\beta$ -delayed Proton Precursor $^{121}\text{Ce}$ in the Region of Proton-drip Line

Xie Yuanxiang Xu Shuwei Li Zhankui Ma Ruichang  
Ge Yuanxiu Wang Chunfang Huang Wenxue Zhang Tianmei

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

Received 24 January 1997

### Abstract

New  $\beta$ -delayed proton precursor  $^{121}\text{Ce}$  has been produced by the reaction  $^{92}\text{Mo}(^{32}\text{S}, 3n)$  and studied by using  $\gamma(\text{X})\text{-p}$  coincidence with a He-jet recoil fast tape transport system. The half-life of  $^{121}\text{Ce}$  was determined to be  $(1.1 \pm 0.1)\text{s}$ . Its  $\beta$ -delayed proton spectrum has been observed and the  $\beta$ -delayed proton branching ratio for  $^{121}\text{Ce}$  was estimated to be  $(1.0 \pm 0.5)\%$ .

**Key words** proton-drip line, new nuclide,  $\beta$ -delayed proton decay,  $\beta$ -delayed proton precursor.