

## 质子滴线附近的新核素 $^{129}\text{Pm}^*$

徐树威<sup>1)</sup> 谢元祥 李占奎 王旭东

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

**摘要** 通过重离子引起的融合蒸发反应  $^{92}\text{Mo} (^{40}\text{Ca}, p2n)$  合成了稀土区未知核素  $^{129}\text{Pm}$ , 并且配合氦喷嘴快速带传输系统利用 X- $\gamma$  符合方法对它进行了首次鉴别. 实验观测到了经  $^{129}\text{Pm}$  的  $(\text{EC} + \beta^+)$  衰变产生的对应于子核  $^{129}\text{Nd}$  中  $5/2^- \rightarrow 1/2^-$  跃迁的一条 99keV  $\gamma$  线. 根据这条 99keV  $\gamma$  线的时间衰变曲线, 提取出  $^{129}\text{Pm}$  的半衰期为  $(2.4 \pm 0.6)\text{s}$ .

**关键词** 新核素 质子滴线 氦喷嘴快速带传输系统 “X- $\gamma$ ”符合方法 半衰期

2000 年 Souliotis 仅仅报道过用核反应方法观测到  $^{129}\text{Pm}$  可能存在的证据<sup>[1]</sup>. 可以说  $^{129}\text{Pm}$  还是一种未知核素, 它极缺中子而非常靠近 Hofmann<sup>[2]</sup> 用半经验外推得到的稀土区质子滴线  $Z = 0.743N + 11.6$ . 最近, Zeidan 等<sup>[3]</sup> 报道了有关子核  $^{129}\text{Nd}$  的详细在束  $\gamma$  谱学研究, 这个结果对于我们指认由  $^{129}\text{Pm}$  的  $(\text{EC} + \beta^+)$  衰变发射的  $\gamma$  射线是很有帮助的.

本实验是在中国科学院兰州重离子加速器国家实验室完成的. 由 SFC 加速器引出的能量为 232MeV 的  $^{40}\text{Ca}^{12+}$  重离子束先穿过 1.89mg/cm<sup>2</sup> 厚的 Havar 窗, 进入充满一个大气压氮气的靶室, 再穿过 6cm 厚的氮气层, 最后轰击自支撑的同位素靶  $^{92}\text{Mo}$ . 在靶心处的束流能量为 176MeV. 靶子的同位素富集度为 95%, 其厚度为 1.97mg/cm<sup>2</sup>. 束流强度约为 40pA. 氦喷嘴所用的添加剂是  $\text{PbCl}_2$ , 其工作温度大约为 430 $^\circ\text{C}$ . 放射性产物附着在  $\text{PbCl}_2$  颗粒上, 通过 6m 长的毛细管喷射到传送带上. 然后经过快速带传输系统把附着在传送带上的放射性产物周期性地送到屏蔽好的低本底区, 进行  $\gamma_1(\text{X})-\gamma_2(\text{X})-t$  符合测量. 通常情况下, 放射性收集时间、传送带移动时间、等待时间和测量时间分别为 4.00, 0.15, 0.02 和 3.98s. 两台同轴型 HpGe (GMX) 型探测器用来测量  $\gamma$  射线. 一台平面型 HpGe 探测器用来测量 X 射线. 为了改善测量低能  $\gamma$  射线的能量分辨, 有时我们利用第二台平面型 HpGe 探测器代替同轴型 HpGe

(GMX) 型探测器来测量  $\gamma$  射线. 测得的  $\gamma$  和 X 射线的能谱和时间谱分别用符合方式或单谱方式获取.

图 1 是用 Nd-K $\alpha$ -X 开门的  $\gamma(\text{X})$  射线谱. 在图 1 中除了 Nd-K $\alpha$ -X 和 Nd-K $\beta$ -X 射线外, 我们还看到了  $^{130}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变中最强的 159keV  $\gamma$  线<sup>[4]</sup> 和一条新的 99keV  $\gamma$  线. 这说明该 99keV  $\gamma$  线来自某种 Pm 同位素的  $(\text{EC} + \beta^+)$  衰变. 根据已知的子核  $^{129}\text{Nd}$  的在束  $\gamma$  谱<sup>[3]</sup>, 这条 99keV  $\gamma$  线正对应于  $^{129}\text{Nd}$  的低态  $5/2^- \rightarrow 1/2^-$  的  $\gamma$  跃迁. 所以我们首次指认这条 99keV  $\gamma$  线属于  $^{129}\text{Pm}$  的  $(\text{EC} + \beta^+)$  衰变. 图 2 是用 Nd-K $\alpha$ -X 开门的这条 99keV  $\gamma$  线的时间衰变曲线. 由这条时间衰变曲线提取的  $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变的半衰期为 2.4(9)s.

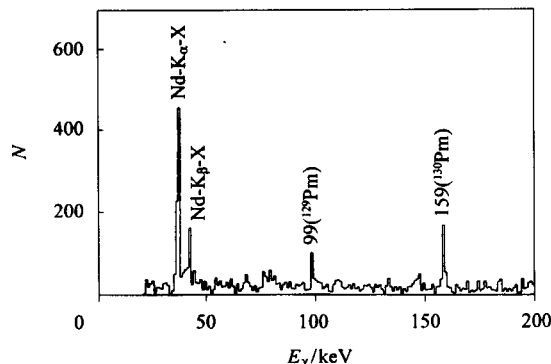


图 1 测量到的、用 Nd-K $\alpha$ -X 开门的  $\gamma(\text{X})$  射线谱  
图中的强峰都标记了它们的能量和对应的  $(\text{EC} + \beta^+)$   
缓发  $\gamma$  的先驱核.

2003-06-18 收稿

\* 国家自然科学基金(10375078, 10005011), 中国科学院综合计划局和国家重点基础研究发展规划项目(G2000077402)资助

1) E-mail: xsw@ns.lzb.ac.cn

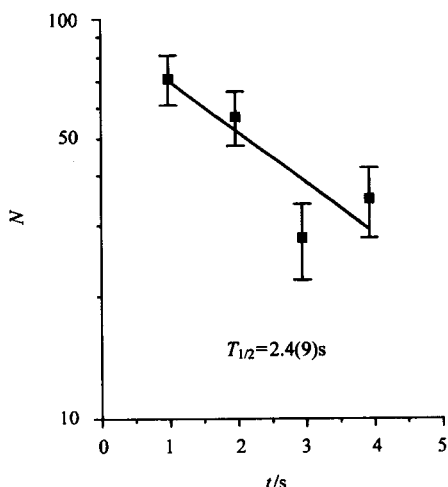


图 2 与  $\text{Nd-K}_{\alpha}$ -X 符合的 99keV  $\gamma$  线的时间衰变曲线

图 3 是用 99keV  $\gamma$  线开门的  $\gamma(X)$  射线谱. 在图 3 中除了  $\text{Nd-K}_{\alpha}$ -X 射线外, 还有 3 条强线 (包括  $\text{Ba-K}_{\alpha}$ -X 线) 都与  $^{125}\text{La}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变有关. 此外, 还有一条 108keV  $\gamma$  线, 它来源于  $^{128}\text{Pr}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变, 是我们在  $\gamma$  单谱中看到的最强的 207keV  $\gamma$  线<sup>[4]</sup> 的康普顿散射. 这是因为 108keV 与开门的 99keV 之和为 207keV. 如果用 98keV 或 100keV  $\gamma$  线开门就能在符合谱中看到与 108keV 峰的大小相近的 109keV 或 107keV 的  $\gamma$  线. 开门线的能量与在符合谱中看到的  $\gamma$  线能量和保持 207keV 不变. 图 3 表明 99keV  $\gamma$  线包含有两种成分, 一种来自  $^{129}\text{Pm}$  衰变, 另一种来自

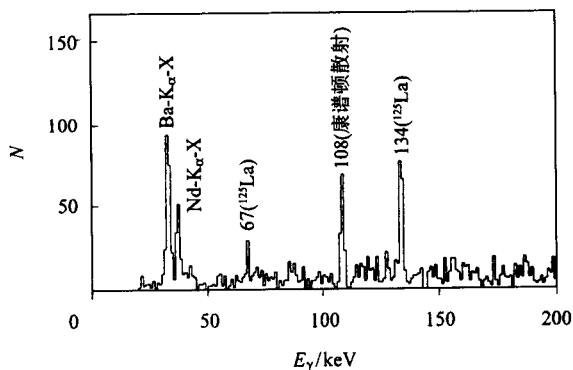


图 3 测量到的、用 99keV  $\gamma$  线开门的  $\gamma(X)$  射线谱  
图中的强峰都标记了它们的能量和对应的  $(\text{EC} + \beta^+)$  缓发  $\gamma$  的先驱核. 其中 108keV  $\gamma$  线来源于  $^{128}\text{Pr}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变中最强的 207keV  $\gamma$  线的康普顿散射.

$^{125}\text{La}$  衰变<sup>[5]</sup>. 不过, 在  $\gamma$  单谱中 282keV  $\gamma$  线仅仅来自  $^{125}\text{La}$  衰变. 对比  $^{125}\text{La}$  衰变中的 282keV  $\gamma$  线和 99keV  $\gamma$  线的相对强度<sup>[5]</sup>, 我们扣除 99keV  $\gamma$  线中来自  $^{125}\text{La}$  衰变的成分, 因而得到了 99keV  $\gamma$  线中来自  $^{129}\text{Pm}$  衰变的成分的时间衰变曲线, 并表示在图 4 之中. 由图 4 也可以提取出  $^{129}\text{Pm}$  经  $(\text{EC} + \beta^+)$  衰变的半衰期为 2.4(7)s. 综合上述两种结果, 最终确定  $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变的平均半衰期为 2.4(6)s.

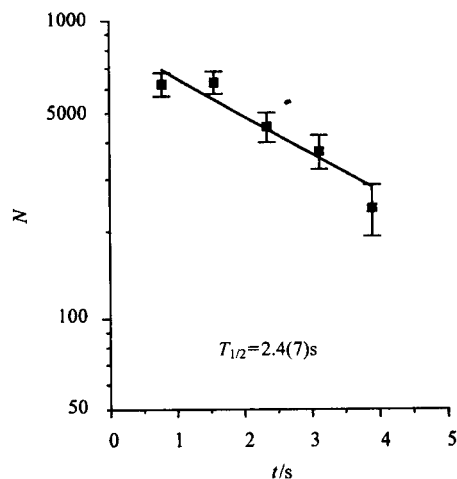


图 4 从测到的  $\gamma$  单谱中提取的 99keV  $\gamma$  线中来自  $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变成分的时间衰变曲线

到目前为止, 对于  $^{129}\text{Pm}$  的半衰期已有不少预言值: (1) Hirsch<sup>[6]</sup> 等基于微观理论给出的预言值为 3.45s (Hilf), 3.35s (Groote) 和 2.00s (Möller); (2) Möller<sup>[7]</sup> 等用宏观-微观质量模型给出的预言值为 0.79s; (3) Audi 等<sup>[8]</sup> 根据系统学的外推值为 1s; (4) Horiguchi 等<sup>[9]</sup> 利用粗糙理论得到的计算值为 1.57s. 我们的实验结果居于理论预言值之间, 接近预言值的平均值.

1997 年 Möller 等人还预言了  $^{129}\text{Pm}$  的基态自旋和宇称为  $5/2^-$ <sup>[7]</sup>. 这相当于最后一个质子处于  $5/2^-$  [532] 轨道. 按照这种预言和  $\beta$  衰变的选择定则,  $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变应当优先馈送到子核  $^{129}\text{Nd}$  中具有自旋为  $3/2^-$ ,  $5/2^-$ , 或  $7/2^-$  的低位能级. 我们从实验上首先观察到了由  $^{129}\text{Pm}(\text{EC} + \beta^+)$  衰变引起的子核  $^{129}\text{Nd}$  中  $5/2^- \rightarrow 1/2^-$  跃迁. 这个事实与 Möller 等人预言的  $^{129}\text{Pm}$  的基态自旋是协调一致的.

## 参考文献 (References)

- 1 Souliotis G A. Phys. Scr., 2000, **T88**:153—157
- 2 Hofmann S. Proton radioactivity. Radiochimica Acta, 1995, **70/71**: 93—105
- 3 Zeidan O, Hartley D J, Riedinger L L et al. Phys. Rev., 2002, **C65**: 024303
- 4 XIE Y X, XU S W, LI Z K et al. Eur. Phys. J., 1999, **A5**:341—345
- 5 Shibata M, Limura H, Asai M et al. Phys. Rev., 2002, **C65**:024305
- 6 Hirsch M, Staudt A, Muto K et al. At. Data Nucl. Data Tables, 1993, **53**:165—232
- 7 Möller P, Nix J R, Kratz K L. At. Data Nucl. Data Tables, 1997, **66**:131—343
- 8 Audi G, Bersillon O, Blachot J et al. Nucl. Phys., 1997, **A624**:1—124
- 9 Horiguchi T, Tachibana T, Katakura J. Chart of the Nuclides 2000. Japanese Data Committee and Nuclear Data Center, 2000

New Nuclide  $^{129}\text{Pm}$  Near the Proton Drip Line \*XU Shu-Wei<sup>1)</sup> XIE Yuan-Xiang LI Zhan-Kui WANG Xu-Dong

(Institute of Modern Physics, CAS Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The very neutron-deficient nuclide  $^{129}\text{Pm}$  was produced via the  $^{92}\text{Mo}({}^{40}\text{Ca}, \text{p}2\text{n})$  reaction and identified for the first time by using the X- $\gamma$  coincidence in combination with a He-jet tape transport system. From the decay of a 99keV  $\gamma$  ray which corresponds to the  $5/2^- \rightarrow 1/2^-$  transition in the daughter nucleus  $^{129}\text{Nd}$  following the  $(\text{EC} + \beta^+)$  decay of  $^{129}\text{Pm}$ , the half-life of  $^{129}\text{Pm}$  was determined to be 2.4(6)s.

**Key words** new nuclide, proton drip line, He-jet tape transport system, X- $\gamma$  coincidence, half-live

---

Received 18 June 2003

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (10375078, 10005011), Chinese Academy of Sciences and Major State Basic Research Development Program in China (G2000077402)

1) E-mail: xsw@ns.lzb.ac.cn