

文章编号: 1007-4627(2012)02-0145-04

^{126}Ce 的 EC/ β^+ 衰变

谢元祥¹, 徐树威¹, 马飞¹, 李占奎¹, 刘洪亮², 许甫荣²

(1. 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 北京大学技术物理系, 北京 100087)

摘要: 利用 187 MeV 的 ^{40}Ca 离子轰击同位素靶 ^{92}Mo , 由熔合蒸发反应生成目标核 ^{126}Ce 。借助氦喷嘴快速带传输系统和 X-X-t 与 X- γ -t 符合测量, 首次建立了 ^{126}Ce 的 EC/ β^+ 衰变纲图。建议了可能属于 ^{126}Ce 一个高自旋同核异能态的衰变, 其 β 衰变后布居在与 ^{126}La 的高自旋同核异能态相关的低位能级区, 测定的半衰期是 57(9) s。也建议了可能属于 ^{126}Ce 基态的衰变, 其 β 衰变后布居在与 ^{126}La 的低自旋同核异能态相关的低位能级区, 它的半衰期被测定为 12(4) s。但偶-偶核 ^{126}Ce 存在高自旋同核异能态的物理原因还有待进一步探究。

关键词: EC/ β^+ 衰变; 氦喷嘴快速带传输系统; 衰变纲图; 同核异能态

中图分类号: O571.32⁺2 **文献标志码:** A

1 引言

1978 年, Bogdanov 等^[1]利用 $^{32}\text{S}+^{98}\text{Ru}$ 反应产生了 ^{126}Ce 。用在线同位素分离器 BEMS-2 按质量数分离反应产物, 观测分离后产物的 La-K-X 射线, 首次测定出 ^{126}Ce 的半衰期为 50(6) s。1987 年, Genevey 等^[2]用 $^{35}\text{Cl}+^{94}\text{Mo}$ 反应产生了 ^{126}Ce 。借助同位素分离器和氦喷嘴技术, 指认了属于 ^{126}Ce 衰变的 6 条 γ 射线: 61.4-, 82.0-, 116.4-, 120-, 136-, 188-keV。还看到了 61-136-188 keV γ 射线的符合。根据这些 γ 射线的衰变曲线测定出 ^{126}Ce 的半衰期为 50(4) s。1993 年, Asai 等^[3]用 $^{36}\text{Ar}+^{92}\text{Mo}$ 反应产生了 ^{126}Ce , 并借助在线同位素分离器和 X- γ -t 符合方法, 指认了属于 ^{126}Ce 衰变的 23 条 γ 射线, 其中包括上述 6 条。但时至今日尚未有人建议 ^{126}Ce 的 EC/ β^+ 衰变纲图。只有通过衰变纲图才能准确说明这个半衰期约为 50 s 的活性是否来自 ^{126}Ce 的基态(0^+ 态)的衰变。Genevey 等^[2]还研究了 ^{126}La 的 EC/ β^+ 衰变, 并建议 ^{126}La 存在同核异能态: 自旋分别为(1, 2)和(5, 6)。2002 年, Kojima 等^[4]进一步报道: ^{126}La 有一个高自旋(4^+ , 5^+)同核异能态, 半衰期为 54(2) s, 还有一个低自旋(0^+ , 1^+ , 2^+)同核异能态, 半衰期小于 50 s。目

前, 对 ^{126}La 的基态尚未识别出来。同时 Kojima 等^[4]还精确测定了源于 ^{126}Ce EC/ β^+ 衰变产生的 γ 射线的半衰期为 51.0(3) s。以上这些信息, 还有 ^{126}La 的在束 γ 谱学研究^[5]与 ^{126}La 的能级编评^[6]对我们进一步建立 ^{126}Ce 的衰变纲图都很有帮助。

2 实验

本实验是在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 232 MeV 的 $^{40}\text{Ca}^{12+}$ 重离子束, 先穿过 1.89 mg/cm² 厚的 Havar 窗, 进入充满一个大气压氦气的靶室, 再穿过 6 cm 厚的氦气层, 最后轰击自支撑的同位素靶 ^{92}Mo 。在靶心处的束流能量为 187 MeV。靶子的同位素富集度为 95%, 其厚度为 1.97 mg/cm², 束流强度约为 40 pA。所用的添加剂是 PbCl_2 , 其工作温度约为 430 °C。放射性产物附着在 PbCl_2 颗粒上, 通过 6 m 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 $\gamma_1(X)-\gamma_2(X)-t$ 符合测量。两台同轴型 HpGe(GMX) 型探测器用来测量 γ 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 γ 射线的能量分辨, 有时我们利

收稿日期: 2011-07-29; 修改日期: 2011-09-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10735010, 11105186); 中国科学院资助

作者简介: 谢元祥(1937—), 女, 北京人, 副研究员, 从事实验核物理研究; E-mail: xsw@impcas.ac.cn

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 γ 射线。测得的 γ 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。

3 结果与讨论

图 1 给出了用 La- K_{α} -X 开门的 Ce 同位素的衰变 $\gamma(X)$ 谱。在图 1 中除 La- K_{α} -X 和 La- K_{β} -X 外, 还看到了数十条 Ce 同位素衰变的 γ 射线, 其中包括已知的¹²⁷Ce 和¹²⁸Ce 的衰变 γ 射线, 分别用空心圈(\circ)和菱形(\diamond)标记。此外, 属于¹²⁶Ce 衰变的 γ 射线, 用数字标记了它们的能量(keV)。这些 γ 射线包括了 Genevey 等^[2] 指认的属于¹²⁶Ce 衰变的 6 条 γ 射线, 也包括了 Asai 等^[3] 指认的属于¹²⁶Ce 衰变的 γ 射线中的绝大多数。有几条 γ 射线的能量彼此很靠近, 比如 55.6-, 60.0-, 61.2-, 66.1-, 66.4-keV 等, 特别是 70.5 keV γ 射线在文献^[3]中没有被标记出来。我们利用两台平面型 HpGe 探测器符合把它们一一识别出来了。因为测量 100 keV 以下的 γ 射线, 用平面型 HpGe 探测器测得单能峰的 FWHM 为 600~800 eV。

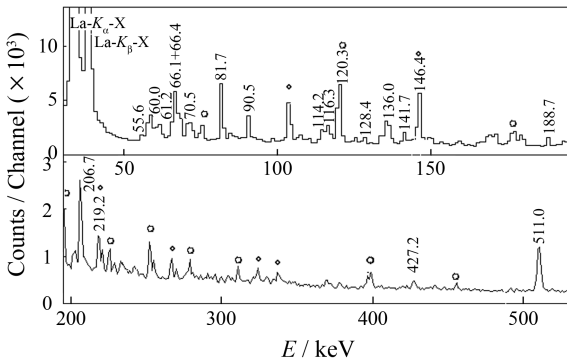


图 1 用 La- K_{α} -X 开门的 Ce 同位素的衰变 $\gamma(X)$ 谱
 \circ 是¹²⁷Ce 的衰变 γ 射线, \diamond 是¹²⁸Ce 的衰变 γ 射线; 标记的数字是¹²⁶Ce 衰变 γ 射线的能量(以 keV 为单位)。

表 1 列出了我们看到的、又被文献^[2]和^[3]指认属于¹²⁶Ce 的衰变 γ 射线的符合关系。其中与 81.7 keV γ 射线符合的 γ 射线数量最多, 与 136.0 keV γ 射线符合的也有 4 条 γ 射线。

根据表 1, 我们首次建议了¹²⁶Ce 的 EC/ β^+ 衰变纲图(图 2)。

对照在束 γ 谱^[5-6], 在¹²⁶La 的正宇称带中, 存在 $7^+ \rightarrow 6^+ \rightarrow 5^+$ 级联跃迁的 116-70 keV 的符合 γ

射线; 在负宇称带中, 存在 $6^- \rightarrow 5^- \rightarrow 4^-$ 级联跃迁的 128-82 keV 的符合 γ 射线。根据编评^[6], 其中 7^+ , 6^+ , 6^- 和 5^- 这 4 条能级的能量不确定性均为 0.8 keV。由此可见, 在¹²⁶La 低位态间存在的这两组符合 γ 射线与我们在¹²⁶Ce 衰变中观测到的 116.3 (5)-70.5(4) keV 和 128.4(5)-81.7(4) keV 的符合 γ 射线在误差范围之内是一致的。于是我们标记出了图 2 中¹²⁶La 相应的低位态 4^- , 5^- 和 6^- , 以及 5^+ , 6^+ , 和 7^+ 。由图 2 看出,¹²⁶Ce 的衰变 γ 射线分为彼此无关的 3 组。第 1 组与¹²⁶La 的低位态 4^- , 5^- 和 6^- 相关联; 第 2 组与¹²⁶La 的低位态 5^+ , 6^+ , 和 7^+ 相关联; 还有相对强度较弱的第 3 组衰变 γ , 仅有 90.5-和 114.2-keV 两条 γ 射线。为了对比, 图 3 给出了 3 组衰变 γ 射线中有代表性的 81.7-, 90.5- 和 136.0-keV γ 射线的衰变曲线。由图 3 看出, 以 81.7 和 136.0 keV γ 射线为代表的第 1 和第 2 组衰变 γ 射线的半衰期为 57(9) s, 与前人报道的结果在误差范围内相符。我们的测量误差较大, 是

表 1 ¹²⁶Ce EC/ β^+ 衰变中所观测到的 γ - γ 符合关系*

E_{γ}/keV	与之符合的 γ 射线/keV
55.6	La- K_{α} -X, 116.3
60.0	La- K_{α} -X, 81.7
61.2	La- K_{α} -X, 136.0, 188.7
66.1*	La- K_{α} -X, 116.3, 136.0
66.4	La- K_{α} -X, 81.7, 120.3, 146.4
70.5	La- K_{α} -X, 116.3, 136.0
81.7	La- K_{α} -X, 60.0, 66.4, 120.3, 128.4, 141.7, 146.4, 206.7, 219.2, 427.2
90.5	La- K_{α} -X, 114.2
114.2	La- K_{α} -X, 90.5
116.3	La- K_{α} -X, 55.6, 66.1, 70.5
120.3	La- K_{α} -X, 66.4, 81.7
128.4	La- K_{α} -X, 81.7, 206.7
136.0	La- K_{α} -X, 61.2, 66.1, 70.5, 188.7
141.7	La- K_{α} -X, 81.7
146.4	La- K_{α} -X, 66.4, 81.7
188.7	La- K_{α} -X, 61.2, 136.0
206.7	La- K_{α} -X, 81.7, 128.4
219.2	La- K_{α} -X, 81.7
427.2	La- K_{α} -X, 81.7

* * 未放置在纲图之内

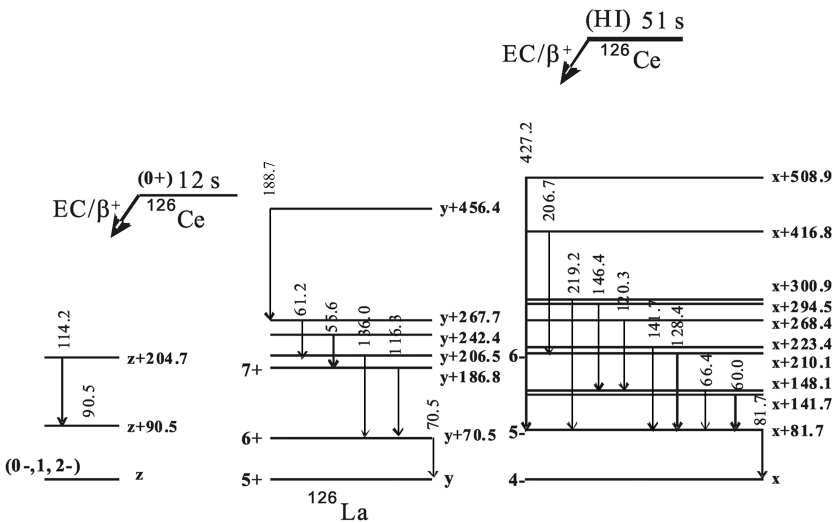


图 2 ^{126}Ce 的 EC/ β^+ 衰变纲图

因为测量的时间周期太短,只有 8 s。对比之下,以 90.5 keV γ 射线为代表的第 3 组衰变 γ 射线的半衰期要短得多,只有 12(4) s。由于受 β 衰变选择定则的限制,偶-偶核 ^{126}Ce 的基态 (0^+) 经过 β 衰变布局到 ^{126}La 的 4, 5, 6 和 7 等较高自旋态的可能性非常小。我们认为,第 1 组和第 2 组衰变 γ 射线可能是来源于 ^{126}Ce 的一个高自旋同核异能态 (HI) 的 EC/ β^+ 衰变。我们进一步推测,第 3 组衰变 γ 射线则可能是来源 ^{126}Ce 基态 (0^+) 衰变到与 ^{126}La 低自旋 ($0^-, 1, 2^-$) 同核异能态相关的低位能级区。

算了 ^{126}Ce 的组态限制的核势能面。结果表明,高 K 两准粒子态的激发能在 1.3~1.9 MeV 之间,形成同核异能态的可能性很小。换一句话说,这个问题还有待进一步探明。本文希望把问题提出来,供今后同行研究参考。

参考文献 (References):

- [1] BOGDANOV D D, DEMYANOV A V, KARNAUKHOV V A, *et al.* Nucl Phys A, 1978, **307**: 421.
- [2] GENEVEY J, GIZON A, IDRISSE N, *et al.* Proc of the 5th Int Conf On Nuclei far from Stability, Rosseau Lake, Canada, 1987, 419.
- [3] ASAI M, KOJIMA Y, OSA A, *et al.* JAERI, Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application, Annual Report, 1993, **3**: 171.
- [4] KOJIMA Y, ASAI M, SHIBATA, *et al.* Applied Radiation and Isotopes, 2002, **56**: 543.
- [5] IMAR J, GIZON A, PARIS P, *et al.* Eur Phys J A, 2000, **7**: 7.
- [6] KATAKURA J, KITAO K. NUCLEAR Data Sheets, 2002, **97**: 902.
- [7] NAZAREWICZ W, DUDEK J, BENGTTSSON R, *et al.* Nucl Phys A, 1985, **435**: 397.

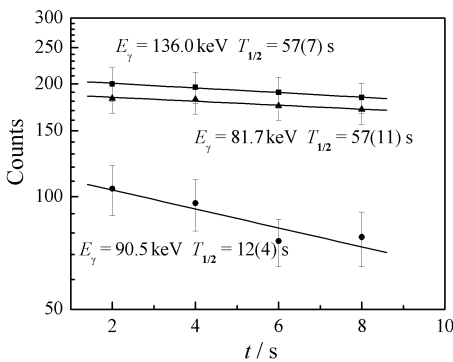


图 3 81.7 (\blacktriangle), 90.5 (\bullet) 和 136.0 keV (\blacksquare) γ 射线的衰变曲线

为了寻找 ^{126}Ce 存在高自旋同核异能态的物理原因,我们利用 Woods-Saxon-Strutinsky 方法^[7]计

EC/ β^+ Decay of ^{126}Ce

XIE Yuan-xiang^{1, 1)}, XU Shu-wei¹, MA Fei¹, LI Zhan-kui¹, LIU Hong-liang², XU Fu-rong²

(1. *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2. *Department of Technical Physics, Peking University, Beijing 100087, China*)

Abstract: ^{126}Ce was produced by bombarding an enriched target of ^{92}Mo with 187 MeV ^{40}Ca beam and studied by using a helium-jet fast tape transport system in combination with X- γ and γ - γ coincidence measurements. An EC/ β^+ decay scheme of ^{126}Ce was proposed for the first time. A group of low-lying states associated with the low-spin isomer in ^{126}La feeding by β decay was possibly from the ground-state EC/ β^+ decay of ^{126}Ce with the measured half-life 12(4) s. Another group of low-lying states associated with the high-spin isomer in ^{126}La feeding by β decay was possibly from a high-spin isomer EC/ β^+ decay of ^{126}Ce with the measured half-life 57(9) s. However, the physical reason for the existence of a high-spin isomer in even-even nucleus ^{126}Ce is still an open problem.

Key words: EC/ β^+ decay; helium-jet fast tape transport system; decay scheme; isomer