

缺中子 ^{120}Ba 核 EC/ β^+ 衰变的再研究*

谢元祥 徐树威 李占奎 马瑞昌 于涌

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 利用 171MeV ^{32}S 束轰击 ^{92}Mo 靶, 融合蒸发 (2n2p) 反应合成了 ^{120}Ba 核. 由氮喷嘴反冲快速带传输系统将反应产物送到低本底区. 位于带子两侧的两个平面型高纯锗探测器对反应产物进行了符合测量. 经离线数据分析, 对早先发表的 ^{120}Ba 衰变 γ 射线予以确认, 并补充了 19 条强度较弱、能量较低的 γ 射线. 建议了 ^{120}Ba 的衰变纲图共包括 35 条 γ 射线和 25 条能级.

关键词 EC/ β^+ 衰变 氮喷嘴反冲快速带传输系统 衰变纲图

1 引言

研究远离 β 稳定线 Ba 核的衰变是很有意义的. 因为这些核处于过渡区, 可能出现形状共存现象. 目前对 Ba 核的衰变研究已扩展到 $^{114-118}\text{Ba}^{[1]}$, 其中已建立衰变纲图的最缺中子的同位素是 ^{120}Ba . 早在 1992 年 Xu Shuwei 等^[2]已研究了 ^{120}Ba 的衰变. 实验测到 ^{120}Ba 的半衰期为 24s, Q_{EC} 值为 4980keV, ^{120}Ba 的基态自旋和宇称为 0^+ , ^{120}Cs 核自旋为 2. 他们选用 $^{106}\text{Cd}(^{16}\text{O}, 2n)$ 反应, 用同位素分离器对反应产物进行了分离鉴别. 由于反应截面稍低, 且同位素分离器的分离效率低, 因此该实验只观测到了强 γ 射线, 并依据这些 γ 射线首次建议了 ^{120}Ba 的衰变纲图. 本次实验选用的反应是 $^{92}\text{Mo}(^{32}\text{S}, 2p2n)^{120}\text{Ba}$, 其生成截面大, 氮喷嘴带传输系统的传输效率高, 两台平面型高纯锗探测器进行 X(γ) 符合测量, 探测器的能量分辨好 (对 ^{133}Ba 源的 81keV γ 射线的分辨为 0.5keV), 对低能 γ 射线的探测效率高, 因此将 ^{120}Ba 衰变的能量低、强度弱的 γ 射线能一一鉴别出来. 确认了 16 条原先指定的 γ 射线, 并补充了 19 条新 γ 射线, 最终建议了由 35 条 γ 射线组成的 ^{120}Ba 核的新的 EC/ β^+ 衰变纲图.

2 实验

实验是在中国科学院近代物理研究所重离子加速器的 SFC 上完成的. 从加速器引出

1998-09-21 收稿

* 国家自然科学基金(19775056)和中国科学院重大资助项目

的 $171\text{MeV } ^{32}\text{S}^{9+}$ 束穿过 Havar 膜 ($1.97\text{mg}/\text{cm}^2$) 进入充氦气的靶室. 在损失了 20MeV 左右的能量后, 轰击自支撑的 ^{92}Mo 同位素靶 ($2.05\text{mg}/\text{cm}^2$). 束流强度为 $0.3\text{e}\mu\text{A}$. 核反应产物在氦气中慢化, 经过氦喷嘴毛细管被喷射到快速带传输系统的传送带上. 带子周期性地将其传送到屏蔽很好的低本底区. 所用的气溶胶为 NaCl , 加热炉的温度为 630°C . 两台平面型高纯锗探测器分别位于带子的两侧, 测量 $X(\gamma)$ 及它们之间的符合. 在磁带上共记录了总数约为 5×10^7 个符合事件.

3 实验结果及讨论

在进行数据分析时, 对 $\text{Cs-K}_\alpha\text{-X}$ 开门得到了 Ba 元素衰变的 γ 射线. 其中 $^{121}, ^{122}\text{Ba}$ 的衰变纲图见文献 [3, 4]. 文献 [2] 给出的 16 条 γ 射线均在 $\text{Cs-K}_\alpha\text{-X}$ 开门谱中看到. 用这 16 条 γ 射线开门, 从 $\gamma\text{-}\gamma$ 符合关系中得到与这些 γ 射线符合的强度较弱的 γ 射线, 再用这些弱的 γ 射线倒开门, 进一步证实了这些符合关系的存在. 图 1 给出 102.5keV 开门得到的 γ 射线谱. 文献 [2] 指出了 102.5keV γ 射线与 6 条 γ 射线有符合关系, 其能量分别为 $76.9, 122.1, 146.0, 165.7, 182.6, 234.3\text{keV}$. 从图 1 可以看出, 这些 γ 射线的强度较大, 特别是 139.7 和 165.7keV 的 γ 射线, 文献 [2] 给出的强度分别为 38 和 23. 由于是级联 γ 射线, 所以也与 102.5keV 符合了. 除了上述 7 条 γ 射线外, 图 1 中的其它十几条 γ 射线强度都比较弱.

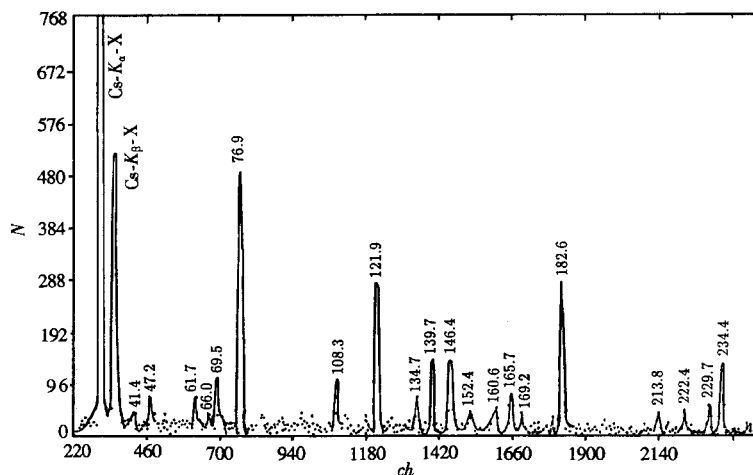


图1 102.5keV γ 射线开门得到的 γ 射线谱

图中数字为 γ 射线的能量 (keV).

文献 [2] 用在线同位素分离器对反应产物进行质量分离, 而后再测 γ 单谱, 从而决定 ^{120}Ba 衰变 γ 的强度. 这种方法是可靠的. 本次实验未做单谱测量. 由于其它核素的 γ 射线的干扰, 例如 179.4keV 的 γ 射线为 ^{120}Ba 的第一强峰, 但 ^{121}Cs 核也有这条 γ 射线, 因而用氦喷嘴带传输方法测量单谱就无法定准这条 γ 射线的强度. 本次实验所增加的这些弱峰是用 $\gamma\text{-}\gamma$ 符合方法, 由已知强度的 γ 射线来确定弱 γ 射线的强度, 误差较大. 表 1 给出

表1 ¹²⁰Ba EC/ β^+ 衰变的 γ 射线的能量和强度以及它们的符合关系

E_γ / keV	I_γ	符合关系							
41.4	0.4(0.2)	102.5	182.6						
47.2	0.9(0.5)	102.5	182.6						
61.7	1.0(0.5)	102.5	182.6						
66.0	0.5(0.3)	102.5							
67.8	1.2(0.6)	248.9							
69.5	1.3(0.7)	102.5	121.9	182.6					
75.4	10(4)	90.2	269.9						
76.9	9(4)	102.5	126.4	139.7	165.7				
78.3	6.6(3.3)	269.9							
90.2	1.7(0.4)	179.4							
92.3	1.5(0.4)	179.4							
96.4	1.3(0.6)	248.9							
102.5	9(3)	41.4	47.2	61.7	66.0	69.5	76.9	108.3	121.9
		134.7	139.7	146.4	152.4	160.6	165.7	169.2	
		182.6	213.8	222.4	229.7	234.4			
108.3	1.4(0.7)	102.5							
121.9	6(3)	69.5	102.5	182.6					
126.4	7(2)	76.9	102.5	179.4	192.8				
134.7	2.0(1.0)	102.5							
139.7	38(6)	76.9	102.5	150.4	179.5				
146.4	3.2(1.6)	102.5							
150.4	3.0(1.5)	139.7	179.5						
152.4	14(3)	76.9	102.5	179.5	192.8				
160.6	1.9(0.9)	102.5							
165.7	23(4)	76.9	102.5	179.5					
169.2	0.5(0.2)	102.5							
170.7	1.2(0.3)	179.4							
175.0	1.5(0.4)	179.4							
179.4	100	90.2	92.3	126.4	139.7	152.4	165.7	170.7	175.0
182.6	7(2)	41.4	47.2	61.7	69.5	102.5	121.9		
192.8	17(3)	76.9	126.4	152.4					
213.8	2.3(0.8)	102.5							
222.4	1.1(0.6)	102.5							
229.7	3.8(1.9)	102.5							
234.4	10.8(4.8)	102.5							
248.9	14(4)	67.8	96.4						
269.9	43(7)	75.3	78.3						

括号中的数据为误差。

¹²⁰Ba 核 EC/ β^+ 衰变中 γ 射线的能量和强度以及它们的符合关系。在文献 [2] 中 134.7keV

($I_\gamma < 5$)、146.0keV ($I_\gamma < 4$)、234.3keV ($I_\gamma < 10$)等 γ 射线的强度仅给出上限。本文依据 γ - γ 符合的关系,对这3条 γ 射线的强度进行了修正。

由 γ - γ 符合关系以及能量和的关系,我们建议了 ^{120}Ba 的衰变纲图(见图2所示),与文献[2]比较增加了19条新的弱 γ 射线。除134.8keV的 γ 射线依据它与102.5keV γ 射线的

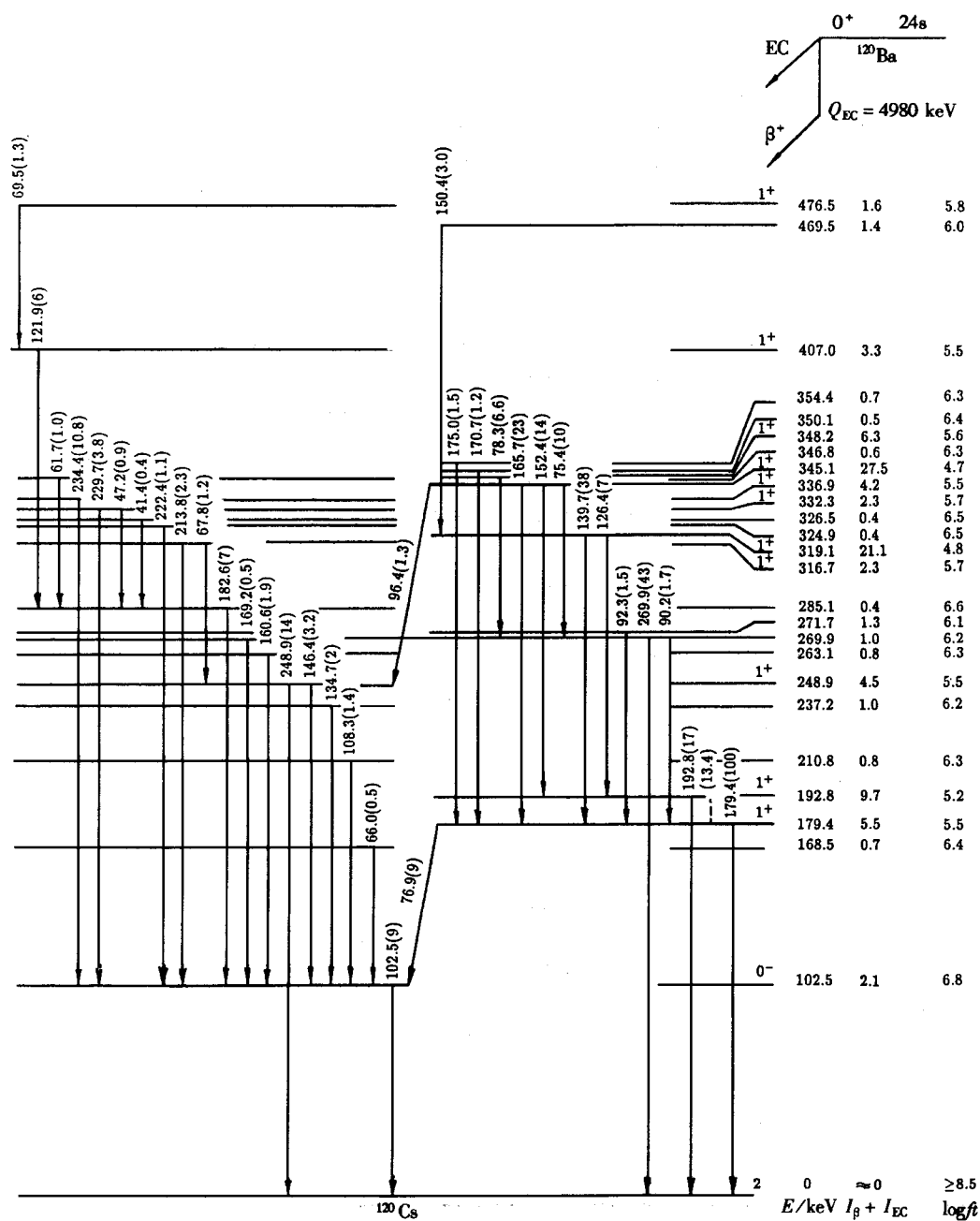


图2 ^{120}Ba EC/ β^+ 衰变的衰变纲图

括号中的数据为 γ 射线强度。

符合关系移动了位置外, 新建的衰变纲图与原有的衰变纲图是没有矛盾的. 它共包括 25 条能级. 与文献 [2] 相同, 在建立纲图时, 首先假定所有的 γ 射线的多极性为 M1, 计算了内转换系数, 并对 γ 射线强度进行修正, 从而可以标出各能级的边馈值. 但是发现 102.5keV 能级 (只有 102.5keV 的 γ 射线从这个能级发出) 和 285.1keV 能级 (只有 182.6keV 的 γ 射线从此发出) 的边馈值是负值. 可能的解释是这两条 γ 射线的内转换系数比 M1 修正要大. 为了检验这个想法, 又重新研究 $\text{Cs}-\text{K}_{\alpha}-\text{X}$ 的开门谱. 如果内转换系数大, 产生的 X 射线的强度就大, 在 X 射线符合谱中, 与 102.5keV 或 182.6keV γ 射线级联的 γ 射线强度要比在 γ 单谱中它们的强度有明显的增高, 在测到的 X 射线开门谱中的确看到这一现象. 因而我们假定这两条 γ 射线的多极性不是 M1, 而用 M2 代替. 此外与 182.6keV γ 射线 ($I_{\gamma} = 7$) 符合的共有 4 条, 即 41.4keV ($I_{\gamma} = 0.4$)、47.2keV ($I_{\gamma} = 0.9$)、61.7keV ($I_{\gamma} = 1.0$)、121.9keV ($I_{\gamma} = 6.0$). 假定前 3 条 γ 射线的多极性为 E1, 在这些假定下计算出这 25 个能级的边馈值及 $\log ft$ 值, 这两组值均标在图 2 的右方. $\log f$ 值取自 Gove 和 Martin 的表^[5]. 按照 Roman 和 Gove 给出的经验规则^[6], $\log ft$ 的值小于 5.9 的 β 跃迁是允许跃迁. ^{120}Ba 的基态自旋宇称是 0^+ , 因而 $\log ft < 5.9$ 的所有态的自旋宇称是 1^+ . 除了文献 [2] 所指出的 6 个 1^+ 态能级外, 又新增加 5 个 1^+ 态能级. 102.5keV 能级的 $\log ft$ 的值为 6.8, 由 β 跃迁选择定则可知这是一级禁戒跃迁, 可以指定这个态为 0^- . 假定由这个态退激到 ^{120}Cs 基态 (自旋为 2) 的 102.5keV γ 射线的多极性为 M2 也是合理的.

人们利用在线同位素分离器对反应产物进行质量分离, 可以大量地去除干扰本底. 但由于在线同位素分离器分离效率低, 指认强度弱的衰变 γ 射线有一些困难. 氮喷嘴快速带传输系统去除干扰本底的能力差, 但传输效率高. 所以把两种方法的优点结合起来, 就会取得较为满意的结果.

参 考 文 献

- 1 Janas Z, Pechocki A, Szerypo J et al. Nucl. Phys., 1997, **A627**:119
- 2 Xu Shuwei, Guo Junsheng, Yuan Shuanggui et al. Phys. Rev., 1992, **C46**:510
- 3 Akihiko Osa, Shin-ichi ICHIKAWA, Hideki IIMURA et al. JAERI Annual Rep., 1991, 95
- 4 Weiss B, Gizon A, Liang C F et al. Low-Spin States in ^{122}Cs . In: Rita G. Lerner. Nuclei Far From Stability CONF Rosseau Lake 1987. New York: American Institute of Physics, 1988. 415
- 5 Gove N B, Martin M J. Nucl. Data Tables, 1971, **10**:206
- 6 Roman S, Gove N B. Phys. Rev., 1973, **C7**:1995

Reinvestigation for EC/β^+ Decay of Neutron-Deficient Nuclide ^{120}Ba *

Xie Yuanxiang Xu Shuwei Li Zhankui Ma Ruichang Yu Yong

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

Abstract ^{120}Ba was produced by irradiation of ^{92}Mo with 171MeV ^{32}S via fusion-evaporation reaction channel. The reaction products were carried to a low-background region using a He-jet recoil fast tape transport system. Two planar High-purity Germanium detectors were put at oppsite sides of the tape so as to make a coincidence measurements. Based on the data analysis, the previously published γ rays in ^{120}Ba decay were proved and other nineteen γ rays with weaker intensity and lower energy were also assigned to ^{120}Ba decay. A new decay scheme of ^{120}Ba was proposed. It includes 35 γ rays and 25 energy levels.

Key words EC/β^+ decay, He-jet recoil fast tape transport system, decay scheme

Received 21 September 1998

* Project (19775056) Supported by National Natural Science Foundation of China and Major Subject of the Chinese Academy of Sciences