

^{130}Nd 和 ^{140}Tb 的 EC/β^+ 衰变研究*

于涌 谢元祥 徐树威 李占奎 潘强岩
王春芳 邢建萍 张天梅

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 利用能量为 170MeV 左右的 ^{36}Ar 重离子束轰击 ^{96}Ru 和 ^{106}Cd 浓缩同位素靶, 分别生成缺中子同位素 ^{130}Nd 和 ^{140}Tb . 借助氦喷嘴带传输系统, 用 X- γ 和 γ - γ 符合方法, 分离鉴别了这两种核素, 并进一步测定了它们的衰变性质. 得到 ^{130}Nd 的半衰期为 $(13 \pm 3)\text{s}$, 首次建议了它的 EC/β^+ 衰变纲图, 推测了其子核 ^{130}Pr 的基态和低位能级的自旋宇称. 修订了 ^{140}Tb 的原有极简单的 EC/β^+ 衰变纲图并指认 ^{140}Tb 的基态自旋宇称为 7^+ .

关键词 EC/β^+ 衰变 衰变纲图 氦喷嘴带传输系统 符合方法

1 引言

$A \approx 130$ 核区内的核素位于两个原子核大壳 50—82 之间, 是球形核到大形变核的过渡区. 因此, 位于此区域的核素一般具有复杂的核现象, 是国际核物理学者研究的热门核区. 此核区多数核的高自旋态在束研究已取得了许多进展, 相对而言, 缺中子核素的 EC/β^+ 衰变研究较少, 许多核素的衰变纲图尚待建立. 所以, 通过对 $A \approx 130$ 核区核素的 β 衰变研究, 可以提供更丰富的子核低位能级和相关基态性质的信息, 有很重要的物理价值. 特别是由偶-偶核衰变所得到的奇-奇核的低位能级的讯息是无法用在束 γ 谱学代替的.

^{130}Nd 子核 ^{130}Pr 的在束研究已于 1997 年被 Petrache 等^[1] 报道过. 此前, 只有 Bogdanov 等^[2] 从 X 射线的研究指认了 ^{130}Nd 的半衰期为 $(28 \pm 3)\text{s}$. 至今, 未见有 ^{130}Nd 的 EC/β^+ 衰变的有关报道. 有关 ^{140}Tb 的 EC/β^+ 衰变已由 Firestone 等^[3] 开展过. 除测定到其衰变半衰期为 2.4s 外, 由于探测器分辨等原因, 他们只找到了属于 ^{140}Tb 的 EC/β^+ 衰变的两条 γ 射线, 而推测应该存在于其子核 ^{140}Gd 的 $4^+ \rightarrow 2^+$ 态的 508.5keV γ 射线也未能观测到, 只标记成了虚线, 并初步指认 ^{140}Tb 的基态自旋宇称为 5^+ . 本实验的目的就在于要建立起 ^{130}Nd 和 ^{140}Tb 的 EC/β^+ 衰变纲图.

2000-01-26 收稿

* 国家自然科学基金(19975057)和中国科学院重大项目以及国家重点基础研究发展规划(G2000077400)资助

2 实验

本实验是在兰州重离子加速器国家实验室完成的. 由加速器 SFC 引出的能量在 220MeV 左右的³⁶Ar 重离子束, 穿过 1.89mg/cm² 厚的 Havar 膜入射窗, 通过 4.9mg/cm² 厚的 Al 降能片, 轰击厚度为 1.5mg/cm² 的⁹⁶Ru 浓缩同位素靶(富集度 97%), 使能量分布在 161—176MeV 之间, 经过融合蒸发 2p 反应产生了缺中子同位素¹³⁰Nd, 然后用 X- γ 符合方法配合氦喷嘴带传输系统对反应产物进行分离鉴别: 反应产物从薄靶中反冲出来, 在充有约 1.32×10^5 Pa 氦气的慢化室中被慢化, 同时粘附在 PbCl₂ 活性载体添加剂上形成大分子集团, 在慢化室和真空收集室的压差作用下, 经长 6m、内径 2mm 的毛细管被迅速传输到真空收集室, 喷射并沉积到收集带上(等待时间 0.1s), 再由带传输系统周期性地 将活性核素传送到低本底的探测区进行 X- γ 、 γ - γ 符合测量或 γ 单谱测量(拉带时间约 0.3s, 测量时间 2s). 在生成缺中子同位素¹⁴⁰Tb 时, 使用的是 2.5mg/cm² 厚的¹⁰⁶Cd 浓缩同位素靶(富集度 75%), 经过融合蒸发 pn 反应生成¹⁴⁰Tb, 其它实验条件与¹³⁰Nd 相同. 探测器放置在屏蔽好的低本底测量区. 用两台同轴型 GMX 高纯锗探测器测量 γ 射线(相对效率分别为 25% 和 30%), 一台平面型 GLP 高纯锗探测器作 X 测量. 用微机进行数据获取, 把 X- γ -t、 γ - γ -t 事件谱记录下来, 以便离线分析.

3 结果与讨论

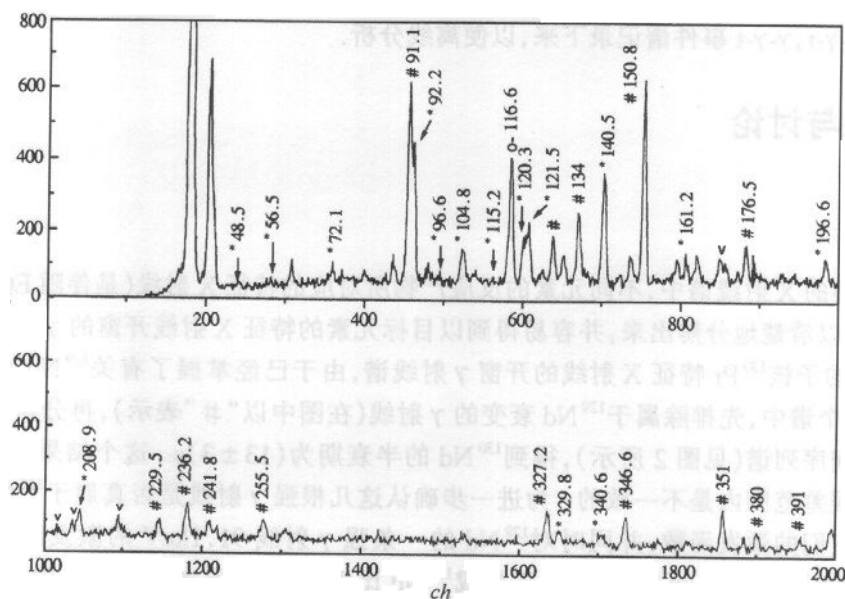
3.1 ¹³⁰Nd

在测得的 X 射线谱中, 不同元素的反应产物所对应的特征 X 射线(是伴随 EC 衰变而发射的)可以清楚地分辨出来, 并容易得到以目标元素的特征 X 射线开窗的 γ 射线谱. 图 1 是¹³⁰Nd 的子核¹³⁰Pr 特征 X 射线的开窗 γ 射线谱, 由于已经掌握了有关¹²⁹Nd 衰变的资料^[4], 在这个谱中, 先排除属于¹²⁹Nd 衰变的 γ 射线(在图中以“#”表示), 再分析其它强 γ 射线的时序谱(见图 2 所示), 得到¹³⁰Nd 的半衰期为 (13 ± 3) s. 这个结果与文献[2] 的报道在误差范围内是不一致的. 为进一步确认这几根强 γ 射线是否真属于¹³⁰Nd 衰变, 我们做了它们的激发函数, 并同时对比¹²⁹Nd 的一条强 γ 射线 91.1keV 的激发函数做比照(见图 3 所示). 从图 3 可以看出, 由于生成¹²⁹Nd 比生成¹³⁰Nd 要多蒸发一个中子, 所以相对生成截面在一定范围内应随激发能增加而增大, 而¹³⁰Nd 应与之相反, 从而确认 92.2, 120.3, 121.5, 140.5keV 是属于¹³⁰Nd 衰变的强 γ 射线. 由这些强 γ 射线开窗的 γ - γ 符合谱可以找到其它弱 γ 射线. 确定这些射线的相对强度可以从测得的 γ 单谱得出, 有些情况下由 γ - γ 符合谱估计出来. 测得的¹³⁰Nd 衰变 γ 射线的相对强度及其符合关系在表 1 中列出. 由表 1 与能量和关系, 我们建立了¹³⁰Nd 的 EC/ β^+ 衰变纲图(如图 4 所示, 图中的 Q_{EC} 取自文献[5]). 对图中¹³⁰Pr 的基态和低位态的自旋宇称进行了如下推测:¹³⁰Nd 是偶-偶核, 其自旋宇称为 0^+ . 前人的实验表明,¹³¹Pr 的基态自旋宇称为 $3/2^+$ ^[6]; ¹²⁹Ce 的基态自旋宇称为 $5/2^+$, 并且有两个能量很低的激发态, 其自旋宇称分别为 $1/2^+$ 和 $3/2^+$ ^[7].

表 1 ^{130}Nd EC/ β^+ 衰变的 γ 射线的能量和强度以及符合关系

E_γ/keV^+	I_γ	符合关系
48.5	10(2)	56.5, 92.2, 104.8, 120.3, 121.5, 161.2
56.5	7(2)	48.5, 92.2, 140.5
72.1	7(2)	92.2
92.2	100*	48.5, 56.5, 72.1, 96.6, 104.8, 115.2, 120.3, 121.5, 161.2, 196.6, 208.9, 329.8, 340.6
96.6	9(2)	92.2
104.8	12(2)	48.5, 92.2, 140.5, 196.6
120.3	39(4)*	48.5, 92.2, 140.5
121.5	27(3)*	48.5, 92.2, 140.5, 161.2
140.5	47(5)*	56.5, 104.8, 120.3, 121.5, 161.2
161.2	31(3)	48.5, 92.2, 140.5, 121.5
196.6	16(2)	48.5, 92.2, 104.8, 140.5
208.9	21(2)*	92.2
329.8	23(2)*	92.2
340.6	19(2)	92.2

+ 能量误差为 $\pm 0.2\text{keV}$; * 号表示的射线强度根据 γ 单谱决定, 其余的由 γ - γ 符合谱估计出来.

图 1 ^{130}Nd 子核 ^{130}Pr 特征 X 射线的开窗谱

* ^{130}Nd , # ^{129}Nd , V Pr.

所以, 我们假定 ^{130}Pr 的基态自旋宇称为 4^+ , 而且具有两个低激发态, 自旋宇称分别为 2^+ 和 3^+ , 它们的能量分别为 140.7 和 92.2 keV. 因为 β 允许跃迁最容易被观测到, 由偶-偶核 0^+ 基态经过允许跃迁应填充到子核的 1^+ 态, 对观测到的 ^{130}Pr 的其它的能级不妨先假设为 1^+ 态. 在此基础上得到假设的 γ 退激的跃迁类型, 进行内转换系数的修正^[8], 再用修正后的相对强度计算出 $\log ft$ 值. 图 4 中标记的 γ 跃迁的相对强度就是经过内转换修

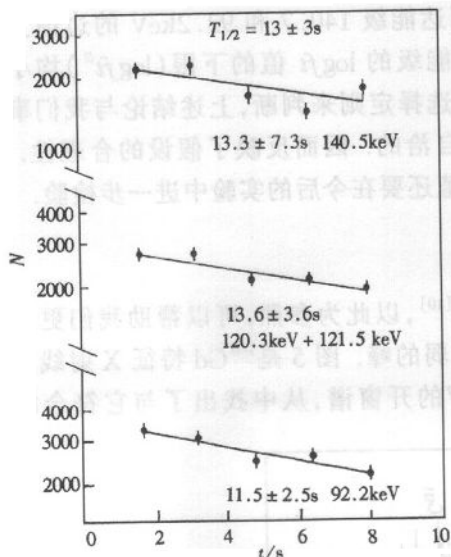


图2 属于¹³⁰Nd 衰变的几根 γ 射线的时间序列谱

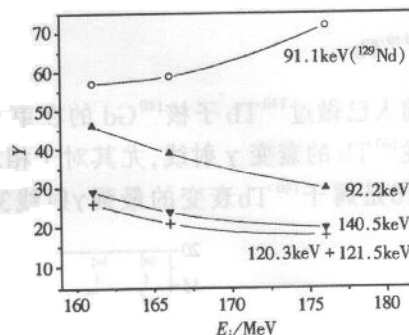


图3 ¹³⁰Nd 和¹²⁹Nd 激发函数的比较

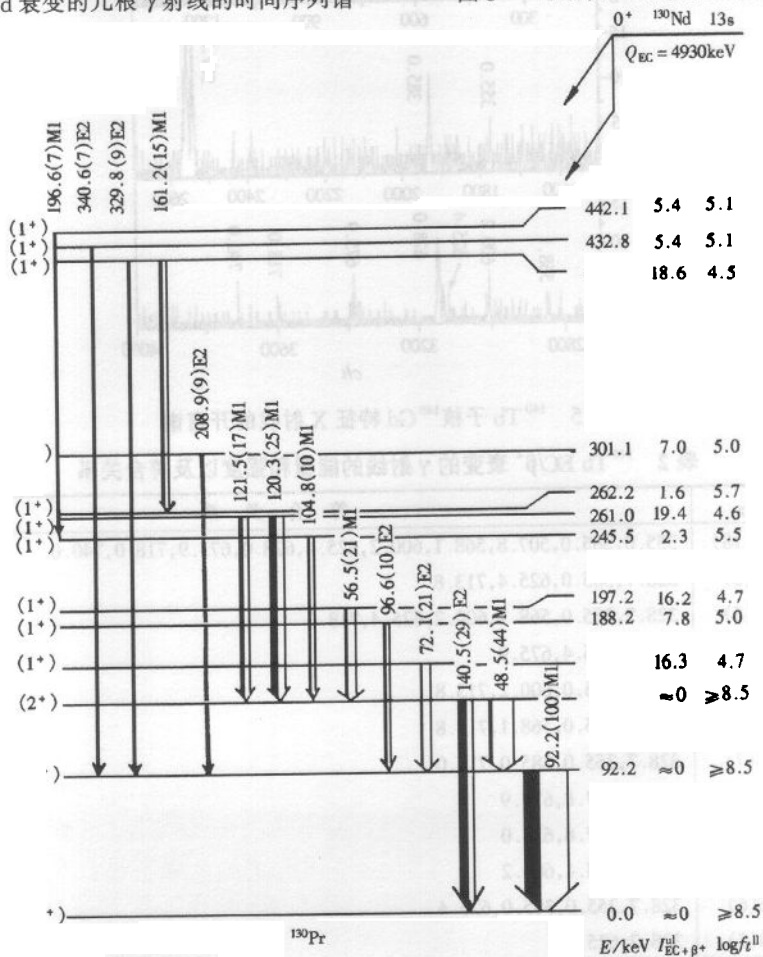


图4 ¹³⁰Nd 的 BC/ β^+ 衰变纲图

正后再重新归一所得到的. 由图 4 可以看出, 到达能级 140.7 和 92.2keV 的边馈上限 (Γ^u) 接近于零, 其 β 跃迁应属于禁戒跃迁; 其它能级的 $\log ft$ 值的下限 ($\log ft^u$) 均小于 5.9, 其 β 跃迁很可能是允许跃迁^[9]. 用 β 跃迁的选择定则来判断, 上述结论与我们事先对观测到的 ^{130}Pr 低位能级的自旋宇称的假设是自洽的. 因而反映了假设的合理性. 当然, 这样推测得到的 ^{130}Pr 的低位能级的自旋宇称值还要在今后的实验中进一步检验.

3.2 ^{140}Tb

前人已做过 ^{140}Tb 子核 ^{140}Gd 的在束 γ 谱研究^[10], 以此为参照, 可以帮助我们更准确地查找 ^{140}Tb 的衰变 γ 射线, 尤其对于相对强度较弱的峰. 图 5 是 ^{140}Gd 特征 X 射线开窗谱. 图 6 是属于 ^{140}Tb 衰变的最强 γ 射线 328.8keV 的开窗谱, 从中找出了与它符合的 10

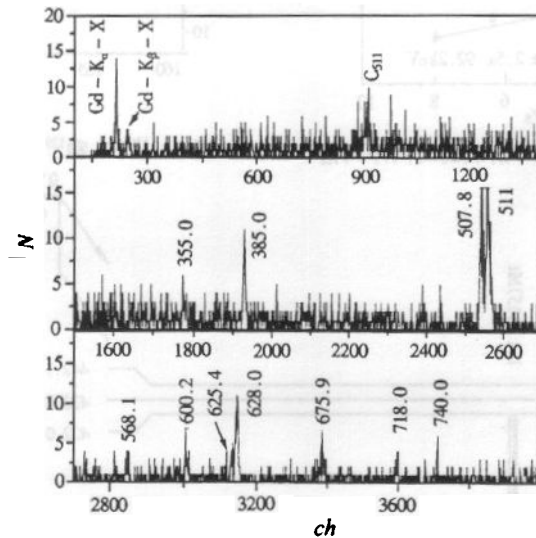


图 5 ^{140}Tb 子核 ^{140}Gd 特征 X 射线的开窗谱

表 2 ^{140}Tb EC/ β^+ 衰变的 γ 射线的能量和强度以及符

E_γ/keV^+	I_γ	符合关系
328.7	100(18)	355.0, 385.0, 507.8, 568.1, 600.2, 625.4, 628.0, 675.9, 718.0, 740.0
355.0	16(6)	328.7, 385.0, 625.4, 713.8
385.0	22(5)	328.7, 355.0, 568.1, 600.2, 625.4, 718.0
507.8	57(13)	328.7, 625.4, 675.9
568.1	18(7)	328.7, 385.0, 600.2, 713.8
600.2	24(10)	328.7, 385.0, 568.1, 713.8
625.4	18(7)	328.7, 355.0, 385.0, 718.0
628.0	52(9)	328.7, 507.8, 675.9
675.9	21(6)	328.7, 507.8, 628.0
713.8	14(4)	355.0, 568.1, 600.2
718.0	16(6)	328.7, 355.0, 385.0, 625.4
740.0	10(3)	328.7, 625.4

+ 能量误差为 $\pm 0.2\text{keV}$.

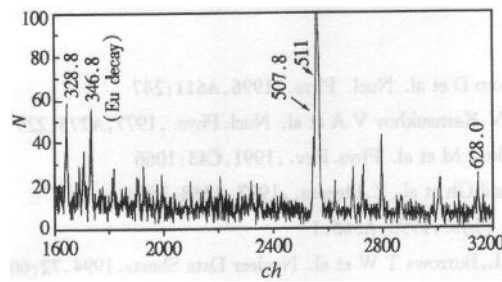


图 6 属于 ¹⁴⁰Tb 衰变的最强 γ 射线 328.8keV 的开窗谱

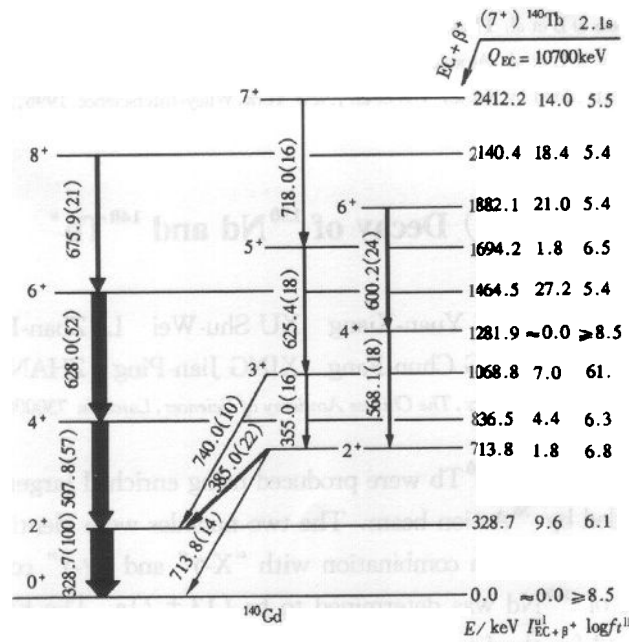


图 7 ¹⁴⁰Tb 的 EC/ β^+ 衰变纲图

根 γ 射线,其中强 γ 射线所确定的半衰期为 $(2.1 \pm 0.4)s$,与文献[3]的结果相符. 另外,参照文献[3]中给出的 328.8,628.0keV γ 射线的相对强度,从 γ - γ 符合谱中估计出其它 γ 射线的相对强度. 各射线的相对强度和符合关系列在表 2 中给出. 由此我们进一步得到了新的 ¹⁴⁰Tb 的 EC/ β^+ 衰变纲图(见图 7,图中的 Q_{EC} 值取自文献[5]). 我们参照了 Paul 等人^[10]有关 ¹⁴⁰Tb 子核 ¹⁴⁰Gd 的在束谱学的测量结果,并对纲图中子核 ¹⁴⁰Gd 的各能级的自旋宇称进行了指认. 由于馈送到 $6^+, 7^+, 8^+$ 能级的 $\log ft$ 的下限值均小于 5.9,很可能属于允许跃迁. 而到其它能级的 $\log ft$ 的下限值均大于 6.0,很可能属于禁戒跃迁. 根据 β 跃迁选择定则指认出 ¹⁴⁰Tb 基态的自旋宇称为 7^+ ,而不是文献[3]中所给出的 5^+ . 这一结果也是与理论预言值^[11]符合的,它是由 $\pi 5/2^-$ 和 $\nu 9/2^-$ 组成的, ¹⁴⁰Tb 的基态形变参数 $\epsilon_2 = 0.208$.

参考文献 (References)

- 1 Petrache C M, Brant S, Barracco D et al. Nucl. Phys., 1996, **A611**:247
- 2 Bogdanov P D, Demyanov A V, Karnaukhov V A et al. Nucl. Phys., 1977, **A275**:229
- 3 Firestone R B, Gilat J, Nitschke J M et al. Phys. Rev., 1991, **C43**:1066
- 4 Gizon A, Genevery J, Cata-Danil Gh et al. Z. Physics., 1997, **A358**:369
- 5 Audi G, Wapstra A H. Nucl. Phys., 1993, **A565**:1
- 6 Sergeev Yu V, Khazov Yu L, Burrows T W et al. Nuclear Data Sheets, 1994, **72**:604
- 7 Tendow Y. Nuclear Data Sheets, 1996, **77**:752
- 8 Rösel F, Fries H M, Alder K et al. At Data Nucl. Data Tables, 1978, **21**:91
- 9 Raman S, Gove N B. Phys. Rev., 1973, **C7**:1995
- 10 Paul E S, Ahn K, Fossan D B et al. Phys. Rev., 1989, **C39**:153
- 11 Möller P, Nix J R, Kartz K-L et al. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 1997, **66**:131; Firestone R B. In Table of Isotopes, 8th ed., Vol. II, edited by Shirley V S et al., New York, Wiley-Interscience, 1996, Appendices H, p-H7

(EC/ β^+) Decay of ^{130}Nd and $^{140}\text{Tb}^*$

YU Yong XIE Yuan-Xiang XU Shu-Wei LI Zhan-Kui

PAN Qiang-Yan WANG Chun-Fang XING Jian-Ping ZHANG Tian-Mei

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

Abstract Isotopes ^{130}Nd and ^{140}Tb were produced using enriched targets ^{96}Ru and ^{106}Cd , respectively, bombarded by ^{36}Ar ion beam. The two nuclides were identified and studied by a He-jet tape transport system in combination with “X- γ ” and “ γ - γ ” coincidence measurements. The half-life of ^{130}Nd was determined to be (13 ± 2) s. The EC/ β^+ decay scheme of ^{130}Nd was proposed for the first time, and the spins and parities of the ground-state and observed low-lying states in the daughter nucleus ^{130}Pr were speculated tentatively. The previous simple EC/ β^+ decay scheme of ^{140}Tb was revised, and the spin-parity of its ground-state was assigned to be 7^+

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

Received 26 January 2000

* Supported by National Nature Science Foundation (19975057), Major Subject of The Chinese Academy of Sciences and Major State Basic Research Development Program(G2000077400)