

$A \sim 190$ 区超形变带的 $\Delta I=4$ 分岔*

吴崇试¹ 周治宁 李松

(北京大学物理系 北京 100871)

1995-12-26 收稿

摘 要

全面分析了 $A \sim 190$ 区的超形变带, 发现在此区域中普遍存在 $\Delta I=4$ 分岔的现象, 并探讨了 $\Delta I=4$ 分岔幅度变化的规律性.

关键词 超形变带, $E2$ 跃迁能量, $\Delta I=4$ 分岔.

超形变核谱学是当前核结构研究的前沿热点之一. 随着新一代探测装置(如 EUROGAM, GAMMASPHERE 等)的投入运行, 新的超形变带不断发现. 迄今为止, 在 $A \sim 190, 150, 130$ 以及 80 区已经测量到一百个以上的超形变带, 在有的核中甚至已经观测到多达 8 条超形变带. 这些超形变带的 γ 跃迁能量, 表现出强烈的规律性, 激发了人们对于极端条件(高自旋、高形变)下核结构的研究兴趣. 目前的理论工作, 除了继续探求新的超形变核区外, 主要集中在以下几点: (1) 超形变带的粒子组态与微观结构; (2) 全同带的物理机制; (3) 超形变态下的对关联与其它剩余相互作用; (4) $\Delta I=4$ 分岔问题等.

超形变带中存在 $\Delta I=4$ 分岔的现象, 首先是由 S. Flibotte 等人^[1]发现的. 他们在分析 ^{148}Gd 超形变带的 $E2$ 跃迁能量时, 发现有 $\Delta I=4$ 分岔的现象. 这一现象的提出, 立即引起理论研究上的极大兴趣. 对这一现象的解释, 最直观的是认为超形变带哈密顿量具有 C_4 对称性^[1,2], 或者说, 超形变核具有 Y_{44} 形变^[3]. I. N. Mikhailov 等人则把这种分岔现象归之为一种特殊的集体模型, 整个原子核除了作整体转动外, 还具有均匀的内禀涡旋运动^[4]. 此外, 在 sdg 相互作用玻色子模型中, $SU(5)$ 极限下也有可能出现 $\Delta I=4$ 分岔^[5]. 最近, B. Cederwall 等人^[6]又指出, 在 ^{194}Hg 的三个超形变带中也存在 $\Delta I=4$ 分岔. 这里的一个基本问题是: $\Delta I=4$ 分岔到底是普遍存在的现象, 还是只存在于个别超形变带中, 甚至只是测量误差内的偶然巧合. 本文将通过对 $A \sim 190$ 区超形变带的系统分析, 说明 $\Delta I=4$ 分岔是一个普遍存在的实验事实.

为了显示 $\Delta I=4$ 分岔的特征, B. Cederwall 等人^[6]建议, 可根据超形变带 γ 跃迁能量 $E_\gamma(I) \equiv E_\gamma(I \rightarrow I-2)$ 提取它们的四级差分

* 国家自然科学基金资助.

¹ 中国科学院理论物理研究所客座.

$$\delta^4 E_\gamma(I) = \frac{1}{16} [E_\gamma(I-4) - 4E_\gamma(I-2) + 6E_\gamma(I) - 4E_\gamma(I+2) + E_\gamma(I+4)], \quad (1)$$

提取四级差分, 而不是像 S. Flibotte 等人^[1] 那样提取三级差分, 其好处是, 如果转动带的能量准确到 $E(I) = AI(I+1) - B[I(I+1)]^2$, 则它的跃迁能量的四级差分恒为 0. 显然,

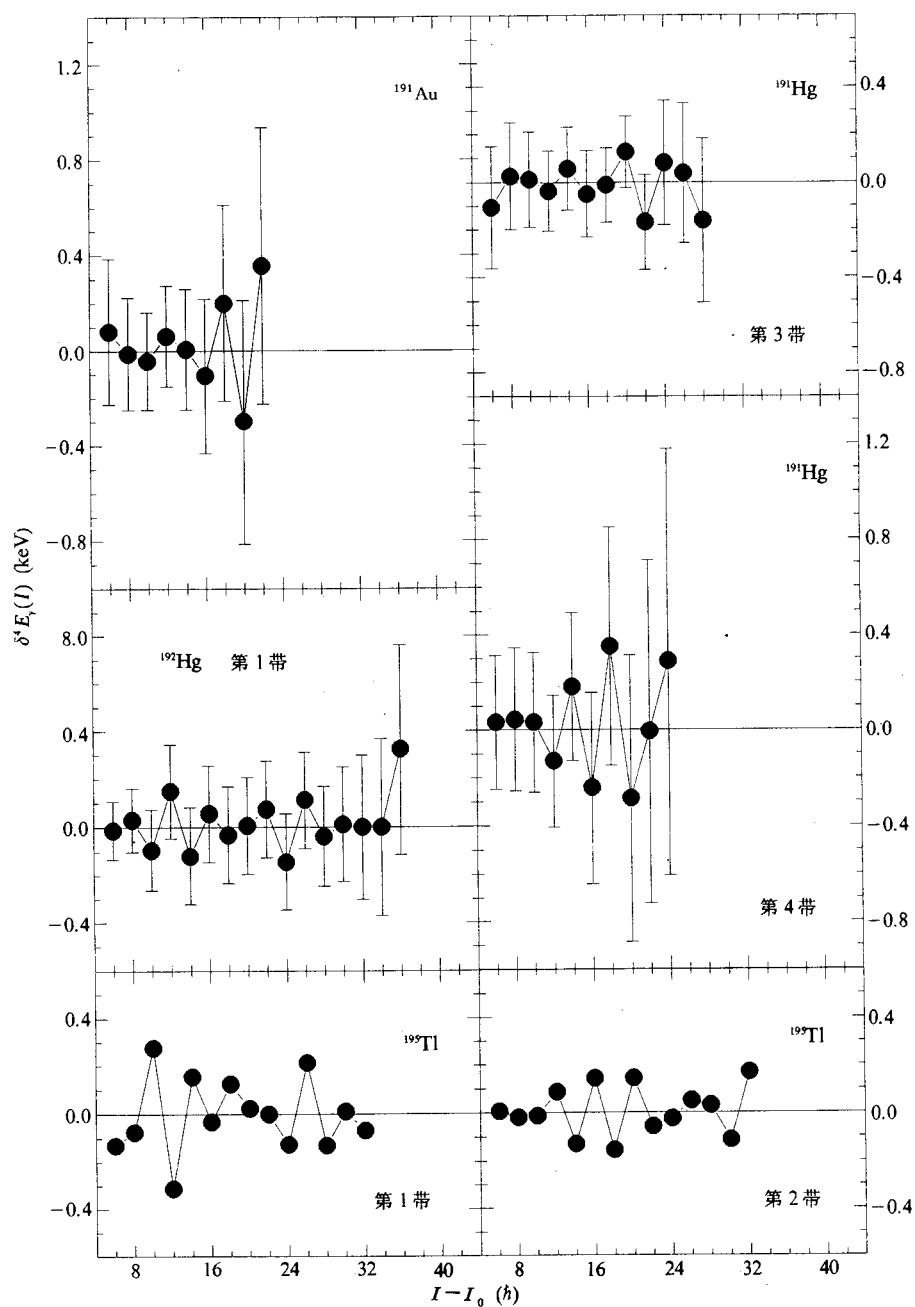


图 1 Au, Hg 和 Tl 核超形变带的 $\Delta I=4$ 分岔现象

在提取 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 时, 实验数据分别取自文献[7](¹⁹¹Au)、文献[8](¹⁹¹Hg)、文献[9](¹⁹²Hg) 和文献[10](¹⁹⁵Tl)。

$\Delta I=4$ 分岔的现象, 就表现为 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 值随 I 的锯齿形起伏. 根据 $A \sim 190$ 区(包括 Au、

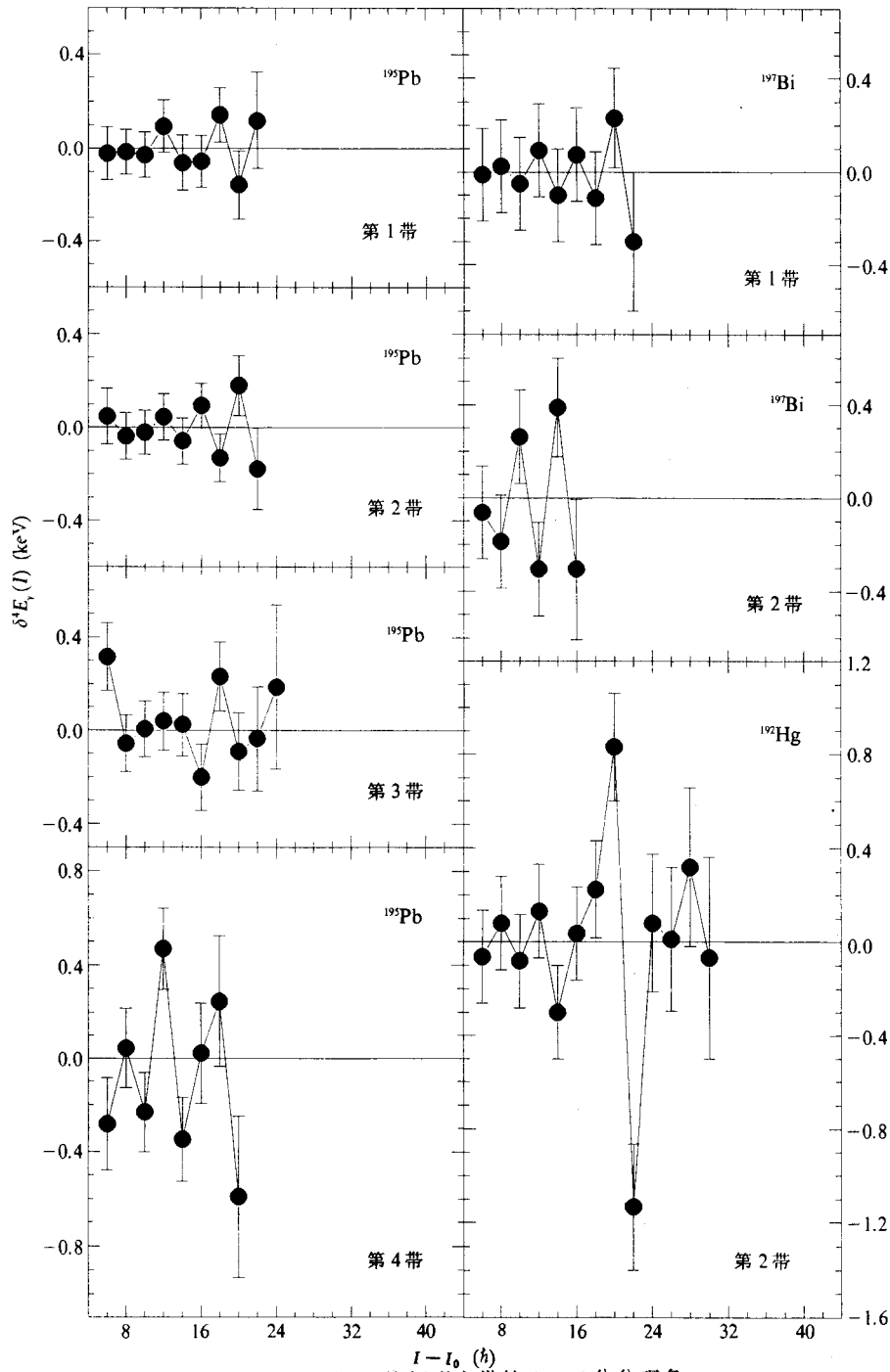


图2 Pb和Bi核超形变带的 $\Delta I=4$ 分岔现象

在提取 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 时, 实验数据取自文献[11](^{195}Pb)和文献[12](^{197}Bi).

图中还显示了 ^{192}Hg 的第2带^[9]中出现的带交叉现象.

Hg、Tl、Pb 和 Bi 诸核) 现有的全部超形变带数据, 提取了它们的 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 值. 结果表明, 除了少数超形变带的级联跃迁较短(如 $^{191, 192}\text{Tl}$), 因而还难以得出有说服性的结论外, 对于这个区域中的绝大多数超形变带, 都程度不同地表现出 $\Delta I=4$ 分岔的特点. 图 1 和图 2 给出了部分结果, 可以看出, 与 ^{198}Hg 相比, $\delta^4 E_\gamma(I)$ 表现出更为明显的锯齿形起伏, 起伏的幅度一般为 $100 - 400\text{eV}$, 少数超形变带(例如 ^{195}Pb 的第 4 带)的起伏幅度高达 600eV . 此外, 在这些超形变带中, 也都存在 $\Delta I=4$ 分岔的反转现象, 而且, 发生反转处的 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 值都非常接近于 0.

图 2 还给出了 ^{192}Hg 的第 2 带的计算结果. 其 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 随 I 的变化, 在带的两端都表现出规则而明显的锯齿状, 但在带的中部却有不规则的大幅度起伏. 这正是该带中存在带交叉的反映. 事实上, 采用 ab 公式^[13]

$$E(I) = a[\sqrt{1 + bI(I+1)} - 1], \quad (2)$$

拟合此带的 γ 跃迁能量 $E_\gamma(I)$ 时, 所得的结果也支持这一结论. 另外, 我们知道, 在 ^{198}Hg 的第 1 带与第 4 带间也存在带交叉^[13, 14]. 这同样也表现在 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 的变化中. 对于这两个带, 单独地都呈现不规则的起伏, 但如果把它们跃迁能量, 按角动量值对应相加, 然后再提取 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 值, 就会表现出明显的、规则的锯齿起伏.

应该提到, 根据现有数据提取的 $\delta^4 E_\gamma(I)$, 都有相当大的误差. 误差小的有 100eV , 误差大的则可达 $500 - 600\text{eV}$, 甚至 $900 - 1000\text{eV}$ (例如 ^{195}Pb). 应该说, 就一个具体的带而言, 其 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 值, 在误差范围内, 可能难以断定到底是呈锯齿形起伏, 还是保持为常数 0. 但是, 从统计的角度看, 如此众多的超形变带中都表现出 $\Delta I=4$ 分岔的特征, 应该说 $\Delta I=4$ 分岔的存在是无可置疑的实验事实.

为了进一步揭示 $\Delta I=4$ 分岔的规律性, 还可以定义

$$\xi(I) = (-)^{(I-I_0)/2} \delta^4 E_\gamma(I), \quad (3)$$

其中 I_0 是超形变带最低能级的自旋值. 显然, $\delta^4 E_\gamma(I)$ 的锯齿形起伏, 现在就表现为 $\xi(I)$ 的光滑变化. 图 3 给出了部分核的 $\xi(I)$ 随 I 变化的情况, 可以看出, $\xi(I)$ 大体有三种变化趋势. 一种以 ^{198}Hg 的第 1 带为代表, $\xi(I)$ 基本上为一常数(约为 100eV). 类似的超形变带还有 ^{190}Hg 的第 1 带, ^{191}Hg 的第 1、2 带, ^{193}Hg 的第 2a、2b 带和第 5 带, 以及 ^{194}Pb 的第 1 带. 在这种情况下, 应该说并不能完全排除 $\xi(I)$ 恒为 0, 即不存在 $\Delta I=4$ 分岔的可能性. 第二种是 $\xi(I)$ 随 I 有单调的变化, 如 ^{195}Pb 的第 2 带, 这时的 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 有非常完美的锯齿形起伏, 而 $\xi(I)$ 改变符号则对应于 $\Delta I=4$ 的反转. 类似的超形变带还有 ^{194}Pb 的第 1 带. 第三种情形是 $\xi(I)$ 有明显的起伏变化, 多数超形变带都是属于这种情形. 当然, 在 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 中除了来自 $\Delta I=4$ 分岔的贡献外, 还有转动能量中 $C[I(I+1)]^3$ 项或更高级项的贡献. 根据 ab 公式(2), 可得 $C = \frac{1}{16} ab^3$. 按照 $A \sim 190$ 区的系统结果^[13],

取带首转动惯量 $\mathcal{J}_0 = 1/ab = 100 \hbar^2 \text{MeV}^{-1}$, $b = 3 \times 10^{-4}$, 可以估计出 $C = 5.5 \times 10^{-8} \text{keV}$. 这样, 即使 $I \sim 50$, 来自 $C[I(I+1)]^3$ 项的贡献 $720C(2I+1)$ 也只有 4eV . 在 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 中只占很小的份额. 所以, 这样提取的 $\xi(I)$ 值是有意义的.

最后, 还需要指出, 现在的超形变带跃迁能量, 特别是在带的两端, 还有相当大的

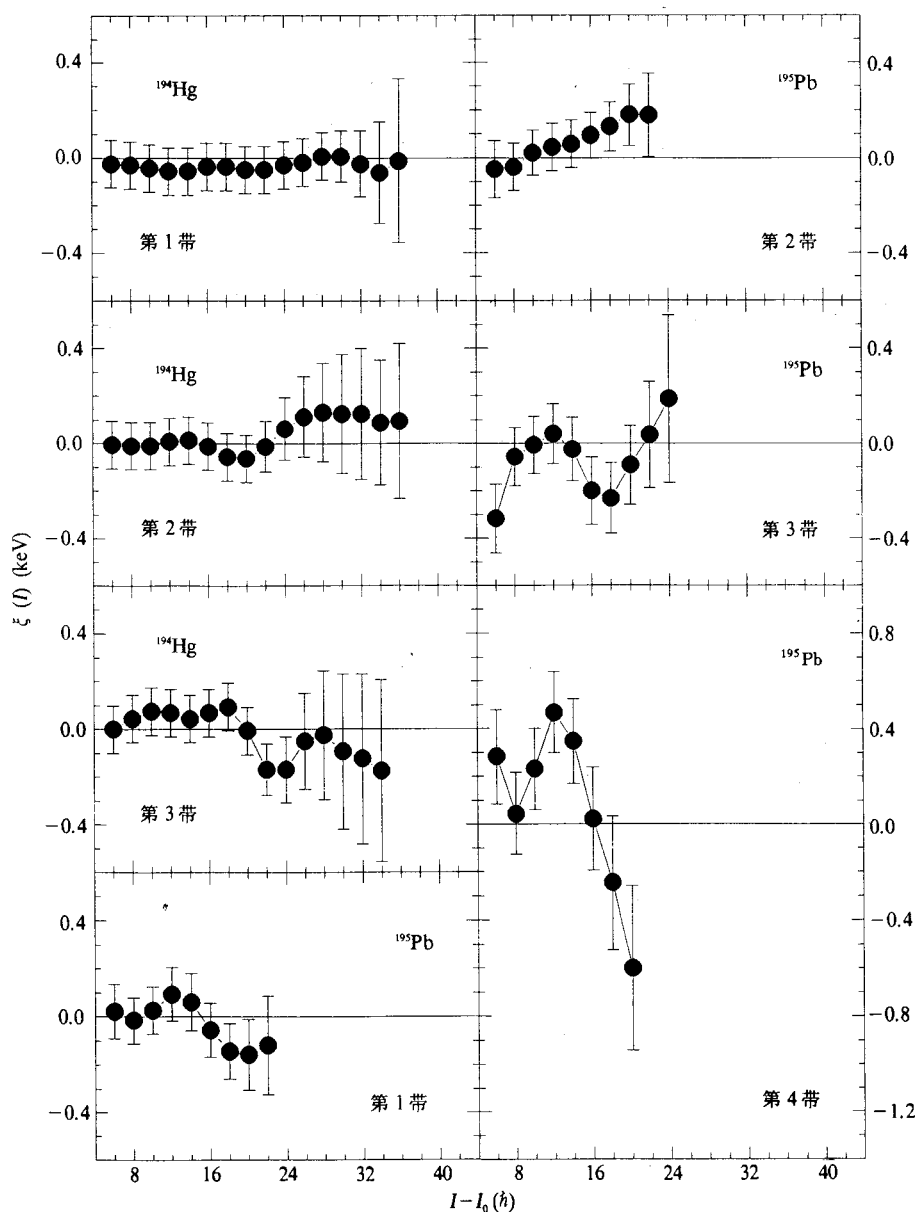


图3 $A \sim 190$ 区超形变带中 $\Delta I=4$ 分岔幅度 $\xi(I)$ (定义见正文) 的几种典型变化

测量误差(可能高达 1 keV 以上), 而且同一个超形变带, 不同的实验小组有不同的结果(个别的跃迁能量也可以相差 1 keV 以上). 这种误差和差别, 对于讨论 $\Delta I=4$ 分岔可能是至为重要的. 根据不同的数据来源, 可以得到不同的结论, 例如根据文献[15]的数据, ^{193}Tl 第 1 带的 $\delta^4 E_\gamma(I)$ 会有 400 eV 的锯齿形起伏. 但根据文献[16]的数据, $\delta^4 E_\gamma(I)$ 值只在 0 附近浮动, 最高也只有 80 eV, 根本看不出锯齿起伏的迹象. 因此, 更准确的跃迁能量测量, 对于 $\Delta I=4$ 分岔现象的研究, 是十分必要的.

对于 $A \sim 150$ 区的超形变带, 我们也进行了类似的分析, 它们和 $A \sim 190$ 区最主要

的不同在于, $A \sim 150$ 区中带交叉的现象非常普遍. 但是, 在带交叉区之外, 特别是那些没有明显带交叉的超形变带, 也都普遍表现出 $\Delta I=4$ 分岔的现象. 在现有的几例超高形变带中, 也表现出 $\Delta I=4$ 分岔的迹象. 我们将另文讨论.

参 考 文 献

- [1] S. Flibotte, H. R. Andrews, G. C. Ball *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **71** (1993) 4299.
- [2] A. O. Macchiavelli, B. Cederwall, R. M. Clark *et al.*, *Phys. Rev.*, **C51** (1995) R1.
- [3] I. Hamamoto, B. Mottelson, *Phys. Lett.*, **B333** (1994) 294.
- [4] I. N. Mikhailov, P. Quentin, *Phys. Rev. Lett.*, **74** (1995) 3336.
- [5] Y. X. Liu, H. Z. Sun, E. G. Zhao, 中国科学院理论物理研究所预印本 AS-ITP-95-26.
- [6] B. Cederwall, R. V. F. Janssens, M. J. Brinkman *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **72** (1994) 3150.
- [7] D. T. Vo, W. H. Kelly, F. K. Wahn *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **71** (1993) 340.
- [8] M. P. Carpenter, R. V. F. Janssens, B. Cederwall *et al.*, *Phys. Rev.*, **C51** (1995) 2400.
- [9] P. Fallon, T. Lauritsen, I. Ahmad *et al.*, *Phys. Rev.*, **C51** (1995) R1609.
- [10] J. Duprat, F. Azaiez, C. Bourgeois *et al.*, *Phys. Lett.*, **B341** (1994) 6.
- [11] L. P. Farris, E. A. Henry, J. A. Becker *et al.*, *Phys. Rev.*, **C51** (1995) R2288.
- [12] R. M. Clark, S. Bouneau, F. Azaiez *et al.*, *Phys. Rev.*, **C51** (1995) R1052.
- [13] C. S. Wu, J. Y. Zeng, Z. Xing, X. Q. Chen, and J. Meng, *Phys. Rev.*, **C45** (1992) 261.
- [14] D. M. Cullen, M. A. Riley, A. Alderson *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A520** (1990) 105c.
- [15] P. B. Fernandez, M. P. Carpenter, R. V. F. Janssens *et al.*, *Nucl. Phys.*, **A517** (1990) 386.
- [16] J. F. Sharpey-Schafer, 在 ITP Summer Symposium on Nuclear Physics (1995 年 8 月, 北京) 上的报告 (未发表).

$\Delta I=4$ Bifurcations in $A \sim 190$ Superdeformed Bands

Wu Chongshi Zhou Zhining Li Song

(Department of Physics, Peking University, Beijing 100871)

Received 26 December 1995

Abstract

The existence of the $\Delta I=4$ bifurcation is confirmed via an overall investigation of the $A \sim 190$ superdeformed bands. The behavior of the bifurcation amplitude is also discussed.

Key words superdeformed bands, $E2$ transition energies, $\Delta I=4$ bifurcation.