

文章编号: 1007- 4627( 2001) 04- 0282- 03

# 原子核的三轴超形变\*

邢 正, 陈星藻

(兰州大学现代物理系, 甘肃 兰州 730000)

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

**摘 要:** 利用粒子-转子模型研究三轴超形变核态, 讨论了区别轴对称超形变和三轴超形变可能的实验信息. 为了直接从实验上识别三轴超形变带, 必须同时测量能谱和电磁跃迁几率.

**关键词:** 原子核结构; 粒子-转子模型; 超形变; 三轴形变

**中图分类号:** O571. 21 **文献标识码:** A

原子核中不同形状的共存是核结构研究的重要课题. 对重稀土区奇  $Z$  核正常形变  $\pi[660 1/2]$  带已进行了广泛而深入的研究, 然而文献[1- 3]对  $^{163, 165, 167}\text{Lu}$  观测到的一条奇异的  $\pi[660 1/2]$  带, 通过总位能面(TES 或 TRS)的计算, 把它们解释为三轴超形变带. 三轴超形变核的研究引起了广泛关注. 最近在  $^{163}\text{Lu}$  又发现了一条三轴超形变带, 在  $^{164}\text{Lu}$  中发现了八条三轴超形变带<sup>[4]</sup>. 另一方面, 在  $A = 80$  区也发现了超形变带. 目前实验上认定三轴超形变带的主要依据为: (1) 由相邻能级间  $\gamma$  跃迁能量推出大的, 且稳定的动力学转动惯量, 从而推出有较大的四极形变, 对  $^{163}\text{Lu}$  还进行了寿命测量, 用轴对称的液滴模型公式估算了四极形变. (2) 通过总位能面的计算, 确认在大的四极形变和大的三轴形变时存在能量极小. (3) 用理论模型计算能谱, 通过与实验数据的比较, 验证由位能面计算得到的形变参数的正确性. 这里大的四极形变具有直接的实验证据, 而三轴形变则由总位能面的计算给出. 这是理论值, 即使拟合了能谱, 也未必存在三轴形变, 因为能量是哈密顿量的平均值, 因而对波函数的细微特征并不灵敏, 同一能谱可以用不同方法进行解释, 不能对三轴形变作出肯定的结论. 为了肯定三轴形变, 必须要有多种独立的实验证据, 特别是寻找某些与轴对称形变不相容的实验现象, 具有决定的意义. 为此作为一个例子, 我们用单  $j$  壳的粒子-转子模型研究了  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  带, 分别用轴对

称超形变和三轴超形变模型计算能谱(包括其旋称伙伴带)和电磁跃迁几率, 在重现实验能谱的条件下, 比较了两类形变的核态在其它可能观测的物理量上的差异, 这种差异可用来识别三轴超形变核态.

为了使研究中应用的简化的粒子-转子模型<sup>[5]</sup>计算结果具有说服力, 首先我们用多  $j$  壳的粒子-转子模型研究组态混合对三轴超形变带的影响<sup>[6]</sup>. 假设奇核子填充费米面附近不同的 Nilsson 轨道, 不同  $j$  壳之间的组态混合是通过单粒子 Nilsson 态自动进行. 计算中只有形变参数是自由参数, 它的选取使能谱和跃迁几率尽可能的符合实验值. 图 1 给出了不同质子轨道对  $^{167}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  带的影响, 其中对  $\pi[660 1/2]$  带影响最大的轨道为第 22 条和第 23 条轨道, 且随自旋值的增加影响加大, 它们的主要成分分别为  $[651 3/2]$  和  $[642 5/2]$  态. 对  $^{163}\text{Lu}$  和  $^{165}\text{Lu}$  的结果完全类似, 因此对  $\pi[660 1/2]$  带组态混合的影响主要来自同一子壳的  $[651 3/2]$  和  $[642 5/2]$  态, 因此对建立在高  $j$  侵入态上的超形变转动带可以用单  $j$  壳的粒子-转子模型来描述.

由于  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  带奇质子填充  $i_{13/2}$  子壳, 它与相邻子壳具有不同宇称, 而相同宇称不同子壳之间的混合是很小的, 因此采用单  $j$  壳的三轴粒子-转子模型是一个好的近似, 假定三轴形变势场中运动的奇核子与一转动核心相耦合, 粒子-转子哈密顿量可表为转动部分与内禀部分之和:

\* 收稿日期: 2001 -09 -29; 修改日期: 2001 -10 -10

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19975023)

作者简介: 邢 正(1938-), 男(汉族), 江苏南通人, 教授, 博士生导师, 从事原子核物理理论研究.

$$H = H_{rot} + H_{intr} . \quad (1)$$

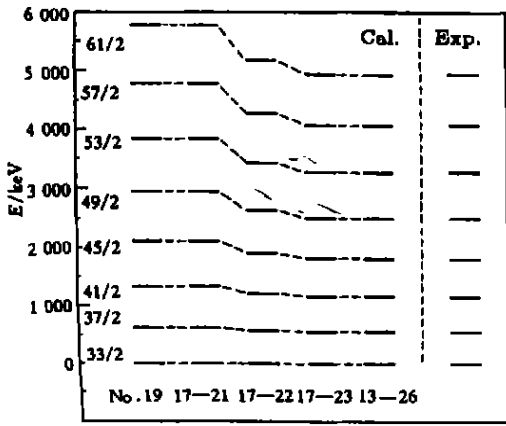


图 1  $^{167}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  带能量理论值和实验值的比较

使用参数:  $e_2 = 0.360$ ,  $e_4 = 0.035$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ; No. 19, 17- 21, ... 表示理论计算分别考虑第 19 条, 第 17- 21 条.....轨道和核心耦合.

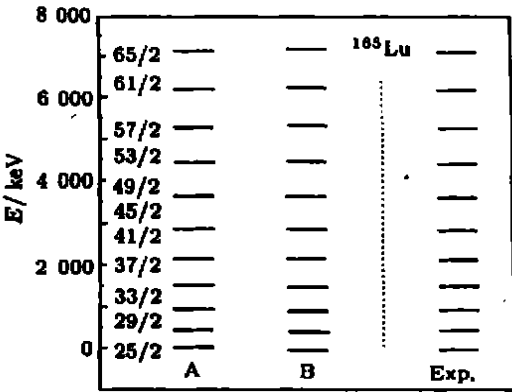


图 2  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  ( $\alpha = 1/2$ ) 带的  $\gamma$  跃迁能量理论值和实验值比较

A 列:  $\gamma = 15^\circ$ ; B 列:  $\gamma = 0^\circ$

对奇 A 核, 建立在任一单粒子组态上的转动带有条, 分别相应于旋称  $\alpha = 1/2$  和  $-1/2$ , 两个旋称系列可以通过 M1 跃迁, 同时混有一小部分 E2 ( $\Delta I = 1$ ) 跃迁相联. 对高 j 侵入态, 特别是  $\Omega = 1/2$  的核态, 能量会有很大的旋称分离, 使得非优先态的能量较高, 实验上难以测定, 因此  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  带的非优先态至今尚未观测到. 图 2 用轴对称超形变和三轴超形变模型计算的  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  ( $\alpha = 1/2$ ) 带的能谱, 并和实验值进行了比较. A 列对应于三轴超形变模型, 使用参数  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\lambda = -0.79 \kappa$ ,  $\Delta = -0.001 \kappa$ ,  $J_{00} = 150/\kappa$ ,  $b = 2.5 \times 10^{-4}$ . B 列对应于轴对称超形变模型, 使用

参数  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\lambda = -0.90 \kappa$ ,  $\Delta = -0.001 \kappa$ ,  $J_{00} = 180/\kappa$ ,  $b = 8.5 \times 10^{-4}$ . 其中  $\kappa$  是能量单位, 可由规格化条件来确定. 由图可见在参数合理范围内, 利用轴对称超形变和三轴超形变都能很好解释能谱, 仅有能谱数据不足以确定原子核的三轴形变.

要正确地识别三轴超形变核态, 必须研究电磁跃迁<sup>[8]</sup>. 在正常形变核态, 磁偶极跃  $B(M1)$  值和 Routhian 量有着密切关系, 由推转模型, 对轴对称形变有

$$\frac{\Delta B(M1)}{B(M1)_{\alpha\nu}} = \frac{4(\Delta e)(\hbar\omega)}{(\Delta e)^2 + (\hbar\omega)^2}, \quad (2)$$

其中,

$$\Delta B(M1) = B(M1; \alpha_i \alpha_n) - B(M1; \alpha_i \alpha), \quad (3)$$

$$B(M1)_{\alpha\nu} = \frac{1}{2} \{ B(M1; \alpha_i \alpha_n) + B(M1; \alpha_i \alpha) \}, \quad (4)$$

$$\Delta e = E(\alpha_n, \omega) - E(\alpha, \omega), \quad (5)$$

这儿  $E$  是转动坐标系中准粒子能量,  $\omega$  为转动频率. 原则上说, (2) 式两边数值可以在  $-2$  和  $+2$  之间, 为了得出三轴形变信息, 定义三轴因子  $F(I)$ ,

$$F(I) = \frac{\Delta B(M1)}{B(M1)_{\alpha\nu}} - \frac{4(\Delta e)(\hbar\omega)}{(\Delta e)^2 + (\hbar\omega)^2}. \quad (6)$$

图 3 给出了用轴对称和三轴超形变模型计算的  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  ( $\alpha = \pm 1/2$ ) 带的三轴因子随自旋  $I$  的变化,  $g$  因子取  $g^l = 1.0$ ,  $g^s = 3.39$ ,  $g^R = 0.42$ , 其它参数同图 2. 在轴对称时, 在研究的自旋范围内,  $F(I)$  接近于零, 而对三轴超形变  $F(I)$  远大于 1, 且呈现复杂的变化. 注意到在  $I = 33/2$  时,  $B(M1)$  位相发生变化, 使  $\Delta B(M1)/B(M1)_{\alpha\nu}$  在  $I = 33/2$  时下降, 而  $I = 33/2$  时上升, 在  $I = 33/2$  时形成一个折点.

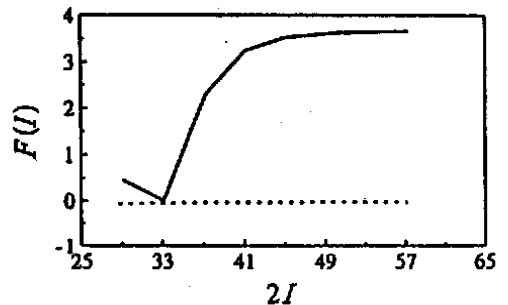


图 3  $^{165}\text{Lu} \pi[660 1/2]$  ( $\alpha = \pm 1/2$ ) 带三轴因子的特征

$\gamma = 15^\circ$ ,  $\Delta \gamma = 0^\circ$ ; 参数同图 2. <http://www.cnki.net>

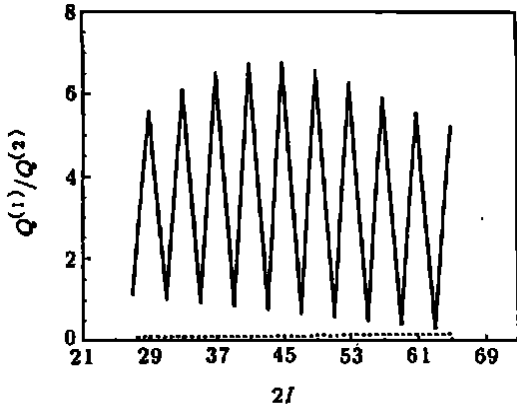


图 4 <sup>165</sup>Lu π[660 1/2] (α= ± 1/2) 带动力学电四极矩 Q<sup>(1)</sup>/Q<sup>(2)</sup>  
— γ= 15°, - - γ= 0°, 其它参数同图 2.

图 4 给出了轴对称超形变和三轴超形变模型 <sup>165</sup>Lu π[660 1/2] (α= ± 1/2) 带两类动力学电四极矩之比, 这儿 Q<sup>(1)</sup> 和 Q<sup>(2)</sup> 定义为

$$B(E2; I \rightarrow I - p) = \frac{5}{16\pi} IK 20 I - p K^2 Q^{(p)2},$$

$$p = 1, 2. \tag{7}$$

由于在研究的自旋范围内, Q<sup>(2)</sup> 基本不变, 因此动力学电四极矩 Q<sup>(1)</sup>/Q<sup>(2)</sup> 曲线的特征, 实际上就是 B(E2; ΔI = 1) 的特征. 在三轴超形变时 Q<sup>(1)</sup>/Q<sup>(2)</sup> 出现明显的振荡; 而在轴对称超形变时, Q<sup>(1)</sup>/Q<sup>(2)</sup> 不出现振荡, 且数值较小.

由此可见, 由于能谱对波函数的依赖性并不灵敏. 在合理范围内选择粒子-转子模型参数, 轴对称超形变和三轴超形变模型都能拟合能谱, 然而三轴因子、两类动力学电四极矩之比存在明显差异, 这些差别可以用来识别三轴超形变核态, 它们可能作为三轴超形变的直接实验证据, 为此测量能谱的同时, 测量其电磁跃迁几率是极其重要的.

参 考 文 献:

[1] Schmitz W, Yang C X, Hubel H, et al. High Spin States in <sup>163</sup>Lu[J]. Nucl Phys, 1992, A539(1): 112- 136.

[2] Schnack-Petersen H, Bengtsson R, Bark R A, et al. Superdeformed Triaxial Bands in <sup>163,165</sup>Lu [J]. Nucl Phys, 1995, A594(2): 175- 202.

[3] Yang C X, Wu X G, Zheng H, et al. Superdeformed Triaxial Bands in <sup>167</sup>Lu [J]. Eur Phys J, 1998, A1(3): 237- 239.

[4] Tormanen S, Φdegard S W, Hagemann G B, et al. Triaxial Superdeformed Bands in <sup>164</sup>Lu and Enhanced E1 Decay-out Strength [J]. Phys Lett, 1999, B454(1): 8- 14.

[5] Chen X Q, Xing Z. Calculation of Nuclear Superdeformed Bands by Using the Particle-rotor Model [J]. J Phys, 1993, G19(11): 1 869- 1 877.

[6] 邢正, 王子兴, 陈星渠, 等. 组态混合对三轴超形变带的影响 [J]. 高能物理与核物理, 1998, 22(11): 1 029- 1 034.

[7] Xing Z, Wang Z X, Chen X Q. Description of Superdeformed Triaxial Bands in <sup>165</sup>Lu [J]. Chin Phys Lett, 1998, 15(3): 170- 172.

[8] Xing Z, Wang Z X, Chen X Q. A Criterion of Superdeformed Triaxial Shape [J]. Chin Phys Lett, 1999, 16(3): 172- 174.

## Triaxial Superdeformation in Nuclei\*

XING Zheng, CHEN Xing-qu

(Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

(Shanghai Institute of Nuclear Research, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** Current developments in triaxial superdeformed states in nuclei are discussed from a theoretical perspective. A detailed analysis of superdeformed triaxial bands is made with particle-rotor model. Experimental information which may differentiate triaxial superdeformation from axially-symmetric superdeformation is discussed. In order to identify the superdeformed triaxial bands both the energy spectra and electromagnetic transition probabilities should be measured.

**Key words:** nuclear structure; particle-rotor model; superdeformation; triaxial deformation