

组态混合对三轴超形变带的影响*

邢正^{1,2} 王子兴² 陈星藻^{1,2} 徐进章¹

1 (兰州大学现代物理系 兰州 730000)

2 (中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

摘要 考虑了不同 j 壳之间的组态混合,用粒子-转子模型研究了三轴超形变带.为了确认三轴超形变,应同时拟合能谱和跃迁几率的实验数据.

关键词 原子核结构 超形变 三轴形变 组态混合

1 引言

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, ¹⁶⁷Lu观测到一条奇异的 $\pi[660\ 1/2]$ 带,通过总位能面(TES或TRS)的计算,文献[2,3]把它们解释为三轴超形变带.要肯定这些带为三轴超形变带,除了进行TES或TRS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,同时至少要拟合两方面的实验数据,即能谱数据和跃迁几率的数据.从高自旋态的理论研究^[4],人们已确信只靠能谱是不能肯定存在三轴形变的.到目前为止,只有对¹⁶³Lu测量了 $[660\ 1/2]$ 带的电四极跃迁几率^[5],利用液滴模型的轴对称形变公式,估计四极矩为10.7b,表明此时四极形变 $\epsilon_2 \approx 0.4$,但是并没有证实存在三轴形变.文献[2]用推转模型计算了¹⁶³, ¹⁶⁵Lu $\pi[660\ 1/2]$ 带的能谱,并与实验进行了比较,但是由于推转模型固有的缺点,文献[2]不能计算跃迁几率,因此对三轴超形变带的指定远未确认,迄今能谱的计算只有一例^[2],而跃迁几率的计算尚未涉及.我们曾用单 j 壳的粒子-转子模型研究了Lu同位素的三轴超形变带^[6],同时计算了能谱和跃迁几率,并与实验值进行了比较.但是由于自由参数过多,没有考虑不同 j 壳之间的组态混合,要确认存在三轴超形变带仍然显得证据不足.本文进一步考虑不同 j 壳之间混合,分析组态混合对能谱和跃迁几率的影响.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态自动进行的.计算中只有形变参数($\epsilon_2, \epsilon_4, \gamma$)是自由参数,它的选取应使能谱和跃迁几率尽可能地同时符合实验值.这里以¹⁶⁷Lu为例进行分析,同时也给出了¹⁶³, ¹⁶⁵Lu的计算结果.

1997-11-17收稿

* 国家自然科学基金(19575025)和核工业科学基金(Y7197AY103)资助

联系人:徐进章

2 模型

假设奇质子和三轴形变的转动核心相耦合, 系统哈密顿量为^[7]

$$H = H_{\text{sp}} + H_{\text{rot}} + H_{\text{pair}}, \quad (1)$$

其中 H_{sp} , H_{rot} 和 H_{pair} 分别为单粒子哈密顿量^[8], 三轴转子哈密顿量和对相互作用.

(1) 式利用基底 $|IMK\nu\rangle$ 对角化,

$$|IMK\nu\rangle = \sqrt{\frac{2I+1}{16\pi^2}} \sum_{Nlj\Omega} C_{nlj\Omega}^{(\nu)} (D'_{MK} |Nlj\Omega\rangle + (-)^{l-j} D'_{M-K} |Nj-\Omega\rangle), \quad (2)$$

其中系数 $C_{nlj\Omega}^{(\nu)}$ 由解单粒子哈密顿量得到.

$$H_{\text{sp}}\chi_\nu = \varepsilon_{\text{sp}}^{(\nu)} \chi_\nu, \quad (3)$$

$$\chi_\nu = \sum_{Nlj\Omega} C_{nlj\Omega}^{(\nu)} |Nlj\Omega\rangle, \quad (4)$$

ν 是 Nilsson 能级图上的序数, 表示不同的 Nilsson 态. 总的波函数为

$$|IM\rangle = \sum_{K\nu} a_K^{(\nu)} |IMK\nu\rangle, \quad (5)$$

这里 $a_K^{(\nu)}$ 是带混合系数. 由于三轴形变 $\gamma \neq 0$, $K \neq \Omega$, K 不是好量子数, 我们用 \bar{K} 表示总波函数的最大分量的 K 值, 通常用 $|\bar{K}\nu\rangle$ 对转动带进行分类^[9]. 对作用由标准 BCS 方法引入, 则单粒子矩阵元乘以相应对因子 $uu' + vv'$, Coriolis 衰减因子 ξ 乘以单粒子非对角矩阵元.

计算中 Nilsson 参数 κ , μ 取标准值^[8], 对力强度 G 按文献 [2] 取标准值的 80%, ξ 取 0.9, 费米能 λ 和能隙参数 Δ 不是可调参数, 由计算给出. 而形变参数 ε_2 , ε_4 , γ 的选取尽可能使能谱和跃迁几率符合实验值.

3 结果和讨论

为了研究不同的质子轨道对能谱和跃迁几率的影响, 图 1 给出了形变参数 $\varepsilon_2 = 0.360$, $\varepsilon_4 = 0.035$, 质子单粒子能级随三轴形变参数 γ 的变化. 表 1 给出了形变参数 $\varepsilon_2 = 0.360$, $\varepsilon_4 = 0.035$, $\gamma = 15^\circ$ 时不同的质子正宇称单粒子波函数, 波函数按其在单粒子能级图上的次序用基底 $|Nlj\Omega\rangle$ 展开 (表中仅列出主要成份, 系数大于 0.1 的分量). 由表可见, 对第 18, 第 19, …, 第 22 正宇称单粒子轨道, 其主要成份分别为 $[411 \ 1/2]$ (占 36%), $[660 \ 1/2]$ (占 57%), $[404 \ 7/2]$ (占 79%), $[402 \ 5/2]$ (占 68%) 和 $[651 \ 3/2]$ (占 57%). 因此当奇核子主要填充第 19 条轨道时, 且 $\bar{K} = 1/2$ (即 $|\bar{K}\nu\rangle = |1/2 \ 19\rangle$) 的转动带, 称为 $[660 \ 1/2]$ 带.

表 1 形变参数 $\epsilon_2 = 0.360$, $\epsilon_4 = 0.035$, $\gamma = 15^\circ$ 5 个质子正宇称态单粒子波函数

$ 18\rangle =$	$-0.270 1g_{7/2}5/2\rangle$	$+0.160 1g_{9/2}1/2\rangle$	$+0.395 1g_{7/2}1/2\rangle$
	$-0.413 2d_{5/2}1/2\rangle$	$-0.603 2d_{3/2}1/2\rangle$	$+0.253 3s_{1/2}1/2\rangle$
	$-0.116 1g_{9/2}3/2\rangle$	$-0.150 1g_{7/2}3/2\rangle$	$+0.310 2d_{5/2}3/2\rangle$
$ 19\rangle =$	$+0.225 1i_{13/2}5/2\rangle$	$+0.756 1i_{13/2}1/2\rangle$	$+0.299 2g_{9/2}1/2\rangle$
	$+0.474 1i_{13/2}3/2\rangle$	$+0.165 2g_{9/2}3/2\rangle$	
$ 20\rangle =$	$-0.188 2d_{5/2}5/2\rangle$	$+0.143 3s_{1/2}1/2\rangle$	$+0.319 2d_{3/2}3/2\rangle$
	$+0.122 1g_{9/2}7/2\rangle$	$-0.889 1g_{7/2}7/2\rangle$	
$ 21\rangle =$	$-0.168 1g_{9/2}9/2\rangle$	$+0.156 1g_{9/2}5/2\rangle$	$-0.185 1g_{7/2}5/2\rangle$
	$-0.822 2d_{5/2}5/2\rangle$	$-0.101 2d_{5/2}1/2\rangle$	$+0.194 2d_{3/2}1/2\rangle$
	$+0.298 3s_{1/2}1/2\rangle$	$+0.288 1g_{7/2}7/2\rangle$	
$ 22\rangle =$	$-0.283 1i_{13/2}5/2\rangle$	$-0.387 1i_{13/2}1/2\rangle$	$-0.190 2g_{9/2}1/2\rangle$
	$+0.754 1i_{13/2}3/2\rangle$	$+0.306 2g_{9/2}3/2\rangle$	$+0.177 1i_{13/2}7/2\rangle$

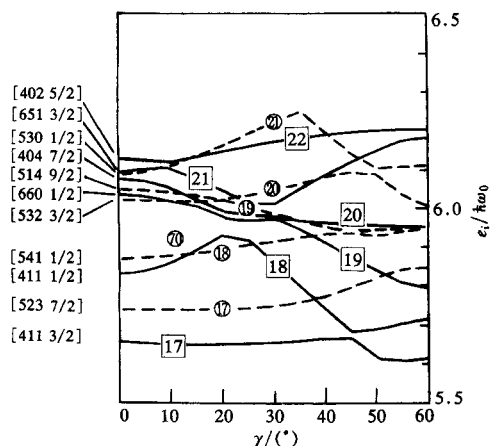


图 1 在 $Z = 70$ 附近,形变参数 $\epsilon_2 = 0.360$, $\epsilon_4 = 0.035$, $0^\circ \leq \gamma \leq 60^\circ$ 的 Nilsson 势的单粒子能级正宇称和负宇称轨道分别用实线和虚线表示,每一能级用其在能级图上的次序标出,在图的左侧,用 $\gamma = 0^\circ$ (轴对称)时波函数主要组份的 Nilsson 量子数对状态进行分类。

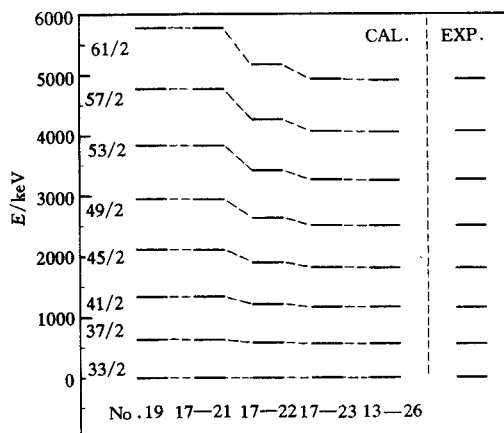


图 2 ^{167}Lu $\pi[660\ 1/2]$ 带能量理论值和实验值比较

使用形变参数: $\epsilon_2 = 0.360$, $\epsilon_4 = 0.035$, $\gamma = 15^\circ$, No. 19, 17—21, 17—22, ……表示理论计算分别考虑第 19 条, 第 17—21 条, 第 17—22 条, ……轨道和核心的耦合。

为了研究不同的质子轨道对 $^{167}\text{Lu}[660\ 1/2]$ 带的影响, 计算中, 在同一组模型参数下, 分别考虑不同数目的质子轨道和核心的耦合。图 2 给出了计算结果并与实验值进行了比较。由图可见, 随着和核心耦合的轨道增多, 理论值趋向实验值, 计算是收敛的。其中对 $[660\ 1/2]$ 带影响最大的轨道为第 22 条和第 23 条轨道, 且随着自旋值的增加影响加大。它们的主要成份分别为 $[651\ 3/2]$ 和 $[642\ 5/2]$, 与 $[660\ 1/2]$ 同属 $1i_{13/2}$ 子壳。由于 Coriolis 相互作用, $-2I \cdot j$ 引起单粒子运动和集体运动的耦合, 对于一定 I , 高 j 低 Ω 轨道耦合最强, 而对一定单粒子轨道, 随着 I 的增大耦合增强^[7], 因此对 $[600\ 1/2]$ 带主要应

考虑 $i_{13/2}$ 子壳内不同轨道的混合. 但是由于形变, 第 22、第 23 条轨道波函数还含有 $2g_{9/2}, 2d_{5/2}$ 等子壳的成份, 此外其它轨道如第 18、第 20 条轨道也有一定的填充几率(如对 $^{167}\text{Lu}[660\ 1/2]$ 带约占 1%—2%), 它们对能谱及跃迁几率没有明显影响, 但对动力学转动惯量会造成较大的改变, 因此考虑不同子壳的混合是必要的. 利用同样参数, 表 2 给出了 $^{167}\text{Lu}\ \pi[660\ 1/2]$ 带约化电四极跃迁几率 $B(E2; I \rightarrow I-2)$ (e^2b^2) 的理论值, 计算涉及不同数目的单粒子轨道与核心的耦合, 对 $B(E2)$ 值的影响, 主要也来自第 22 条和第 23 条轨道, 它们使 $B(E2)$ 的平均值分别增加 $0.21e^2b^2$ 和 $0.05e^2b^2$.

表 2 $^{167}\text{Lu}\ \pi[660\ 1/2]$ 带 $B(E2; I \rightarrow I-2)$ 理论值 (e^2b^2)

$2I$	No.19	No.17—21	No.17—22	No.17—23	No.13—26
37	4.03	4.03	4.15	4.17	4.17
41	4.12	4.12	4.31	4.36	4.36
45	4.25	4.25	4.51	4.58	4.58
49	4.40	4.40	4.69	4.75	4.75
53	4.57	4.57	4.82	4.87	4.87
57	4.71	4.71	4.91	4.95	4.95
61	4.82	4.82	4.97	5.01	5.00

图 3 给出了 Lu 三个同位素的 $\pi[660\ 1/2]$ 带能谱的理论值和实验值的比较, 计算中涉及 14 条轨道 (No.13—26) 和核心的耦合. 在选择形变参数下, 能谱的理论值较好地符合实验值. 值得注意的是, 理论计算得到了 $\pi[660\ 1/2]$ 带的 Signature 伙伴带, 其能量大抵比 $\pi[660\ 1/2]$ 带 (Signature 优先带) 高 500keV, 例如对 $^{167}\text{Lu}\ I = 35/2$ 态能量比 $I = 33/2$ 态高 478keV, 因而非优先带 (u 带) 在实验中难以观测到.

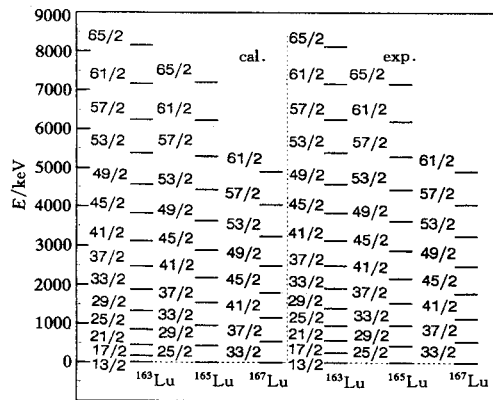


图 3 $^{163}\text{Lu}, ^{165}\text{Lu}$ 和 $^{167}\text{Lu}\ \pi[660\ 1/2]$ 带能量理论值和实验值的比较

使用形变参数: $(\epsilon_2, \epsilon_4, \gamma)$ 对 $^{163}\text{Lu}, ^{165}\text{Lu}$ 和 ^{167}Lu 分别为 $(0.390, 0.035, 18^\circ), (0.389, 0.035, 15^\circ)$ 和 $(0.360, 0.035, 15^\circ)$.

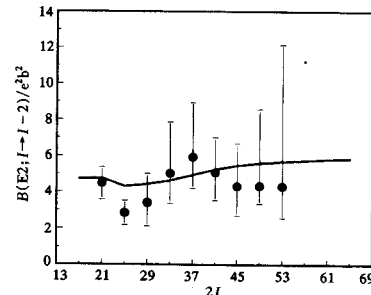


图 4 $^{163}\text{Lu}\ \pi[660\ 1/2]$ 带的约化电四极跃迁几率理论值和实验值的比较

使用参数同图 3.
圆点为实验值.

图 4 给出了 $^{163}\text{Lu}\ \pi[660\ 1/2]$ 带的约化电四极跃迁几率, 在实验误差范围内理论值较好地符合实验值.

4 简短小结

利用粒子-转子模型,考虑到不同 j 壳之间的组态混合,研究了三轴超形变带,由能谱和跃迁几率的理论值和实验数据较好地符合(对^{165, 167}Lu 还缺少跃迁几率的实验值)可以得到下述结论:

(1) 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 粒子-转子模型来描述. 本文的结论同文献 [6] 是一致的.

(2) 用粒子-转子模型计算的能谱和跃迁几率是收敛的. 随着耦合单粒子态的增多,能量和跃迁几率趋于一确定值. 实际计算中只需包括费米面附近几条单粒子轨道即可.

(3) 由理论值和实验值的比较,我们认为¹⁶³Lu $\pi[660\ 1/2]$ 带四极形变为 $\epsilon_2 = 0.390$, 三轴形变 $\gamma = 18^\circ$ 是三轴超形变带. 而对¹⁶⁵Lu 和¹⁶⁷Lu $\pi[660\ 1/2]$ 带,尚缺乏跃迁几率的实验数据,由能谱理论与实验的符合,我们倾向于它也是三轴超形变带,它们的形变参数 (ϵ_2, γ) 分别为 $(0.389, 15^\circ)$ 和 $(0.360, 15^\circ)$.

(4) 为了确认三轴超形变带,在实验上除能谱测量外,还应进行跃迁几率的测量,观测其 signature 伙伴带以及它们可能的跃迁.

参 考 文 献

- [1] Schmitz W, Yang C X, Hubel H et al. Nucl. Phys., 1992, **A539**(1):112—136
- [2] Schnack-Petersen H, Bengtsson R, Bark R A et al. Nucl. Phys., 1995, **A594**(2):175—202
- [3] Wu X G, Yang C X, Zheng H et al. Chin. Phys. Lett., 1997, **14**(1):17—19
- [4] Hamamoto I. Evidence for triaxial shape in yrast spectroscopy. Lund-Mph-88 / 16
- [5] Schmitz W, Hubel H, Yang C X et al. Phys. Lett., 1993, **B303**(3, 4):230—235
- [6] Xing Zheng, Wang Zixing, Chen Xingqu. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1998, **22**(6): 545—549
(邢正,王子兴,陈星渠. 高能物理与核物理, 1998, **22**(6): 545—549)
- [7] Larsson S E, Leander G, Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1978, **A307**(2):189—223
- [8] Bengtsson T, Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1985, **A436**(1):14—82
- [9] Xing Zheng, Chen Xingqu, Xu Shuwei. High Energy Phys. and Nucl. Phys. 1996, **20**(1):93—100

Influence of Configuration Admixtures on Superdeformed Triaxial Bands *

Xing Zheng^{1, 2} Wang Zixing² Chen Xingqu^{1, 2} Xu Jinzhang¹

1 (*Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000*)

2 (*Institute of Nuclear Research, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

Abstract A detailed analysis of superdeformed triaxial bands is made with the particle-rotor model. The influence of configuration admixtures between different j subshells on such systems is investigated. In order to identify the superdeformed triaxial bands both the energy spectra and electromagnetic transition probabilities should be fitted with the experimental data simultaneously.

Key words nuclear structure, superdeformation, triaxial deformation, configuration admixtures

Received 17 November 1997

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19575025) and by China Nuclear Industry Science Foundation (Y7197AY103)

Corresponding author: Xu Jinzhang