

# 含三体势的 IBM1 的 $O(6)$ 极限对偶偶 $^{120\sim 130}\text{Xe}$ 和 $^{124\sim 130}\text{Ba}$ 核的 Yrast 带回弯研究<sup>■</sup>

刘英太

(济宁高等师范专科学校物理系 山东济宁 272125)

韩 勇 徐延冰 廖继志

(四川大学物理系 成都 610064)

摘 要 应用含三体势的 IBM1 的  $O(6)$  极限 [ $O(6)+V_3$ ] 对过渡区偶偶核  $^{123\sim 130}\text{Xe}$ 、 $^{124\sim 130}\text{Ba}$  的 Yrast 带能谱和回弯现象进行了分析研究. 结果表明:  $O(6)+V_3$  能较好地描述回弯的主要特征.

关键词 等效三体势 Yrast 带 回弯现象

分类号 O571.23

## 1 引言

s-d IBM1 的  $O(6)$  极限在解释过渡区中  $\gamma$  软性偶偶核四极态能谱结构方面取得了很大的成功, 但实际的原子核并不具有严格的对称性, 常为几种对称性的组合, 因此研究对称性破缺问题成为 IBM 理论研究的热门话题之一. 最近, Garcia-Ramos 等<sup>[1]</sup> 利用三体势详细分析并讨论了形变核的双  $\gamma$  振动特征. 而在前期工作中<sup>[2,3]</sup>, 在 IBM1 的  $O(6)$  极限中引入一种等效三体势, 成功地分析并改善了过渡区原子核的能谱及  $B(E2)$  跃迁. 考虑到含三体势  $V_3$  的  $O(6)$  极限描述能谱的可靠性, 我们试图用它来分析研究 Yrast 带的回弯现象. 本文首先计算了  $^{123\sim 130}\text{Xe}$  和  $^{124\sim 130}\text{Ba}$  10 个偶偶核的 Yrast 带能谱, 然后对其 Yrast 带的回弯现象分别用纯  $O(6)$  极限及含等效三体势的  $O(6)$  极限做了分析讨论. 结果表明: 含等效三体势的 IBM1 的  $O(6)$  极限能较好地描述 Yrast 带的回弯特征.

## 2 Hamilton 量和修正的能谱公式

含等效三体势的 IBM1 的  $O(6)$  极限(以下简称为  $O(6)+V_3$ )计算方法细节已在文献

[2,3] 中给出, 但为了下文讨论问题的方便, 这里只给出计算中最必要的公式.  $O(6)+V_3$  的 Hamilton 量表达式为

$$H = H_{O(6)} + P(d - 2)[(d^+ \tilde{d})^{(2)} \cdot (d^+ \tilde{d})^{(2)} - \hat{n}_d], \quad (1)$$

其中,  $\hat{n}_d$  为 d 玻色子数算符,  $H_{O(6)}$  为纯  $O(6)$  极限 Hamilton 量, 它在  $O(6)$  基  $|[N], \sigma, \tau, \nu, L, M\rangle$  中是对角的 ( $|[N], \sigma, \tau, \nu, L, M\rangle$  为纯  $O(6)$  极限的波函数), 其本征值为

$$E = B\tau(\tau + 3) + CL(L + 1). \quad (2)$$

引入等效三体势后的波函数可用  $O(6)$  基  $|[N], \sigma, \tau, \nu, L, M\rangle$  展开, 即

$$|\Psi_{L_\alpha}\rangle = \sum_{\sigma\tau\nu} A_{\sigma\tau\nu}^{L_\alpha} |[N], \sigma, \tau, \nu, L, M\rangle, \quad (3)$$

这里  $\alpha$  是用来区分具有相同角动量  $L$  的不同态的附加量子数. 用(3)式的波函数来建立(1)式的含等效三体势的 Hamilton 量  $H$  能量矩阵, 然后将其对角化, 即可得到等效三体势对  $O(6)$  能谱的修正. 而在实际计算中, 我们发现  $H$  能量矩阵的非对角元非常小, 因此只取含三体势的 Hamilton 量  $H$  的一级微扰

本征值<sup>[1]</sup>, 即

$$E = B\tau(\tau + 3) + CL(L + 1) + D[\tau(\tau + 3)]^2 + F[L(L + 1)]^2. \quad (4)$$

Yrast 带的转动惯量  $J$  与转动角速度的平方  $\omega^2$  由下列两式给出<sup>[4]</sup>

$$\frac{2J}{\hbar^2} = \frac{(4L - 2)}{(E_L - E_{L-2})}, \quad (5)$$

$$(\hbar\omega)^2 = (E_L - E_{L-2})^2 \cdot \left[ \sqrt{L(L + 1)} - \sqrt{(L - 2)(L - 1)} \right]^{-2}. \quad (6)$$

### 3 计算结果与讨论

表 1 给出了用最小二乘法拟合 Yrast 带过程中各参数的取值. 为了说明  $O(6) + V_3$

对能谱的改善程度, 图 1 以  $^{120,122}\text{Xe}$  和  $^{124,126}\text{Ba}$  4 个核为例, 给出了具体的计算结果. 图中的 Th. 1 是用(4)式计算的  $O(6) + V_3$  的理论能谱, Th. 2 是用(2)式计算的典型  $O(6)$  极限能谱; Exp. 代表实验能谱. 图 2 和图 3 给出了我们对  $^{120\sim 130}\text{Xe}$  和  $^{124\sim 130}\text{Ba}$  10 个偶偶核用公式(5)与(6)的具体计算结果. 各图中的空心圆圈代表  $O(6) + V_3$  的计算结果, 空心三角形代表用典型的  $O(6)$  极限计算结果, 实心点代表实验谱描述结果, 实验数据分别取自文献[4~11].

从图 1 可以看出: 加上三体势后, 各理论能谱与实验谱的符合程度都有明显的改进, 这说明等效三体相互作用对  $O(6)$  对称性造成的破缺是符合实际的. 从图 2 显示的情况和表 1 中所给出的参数取值可以看出: (1)

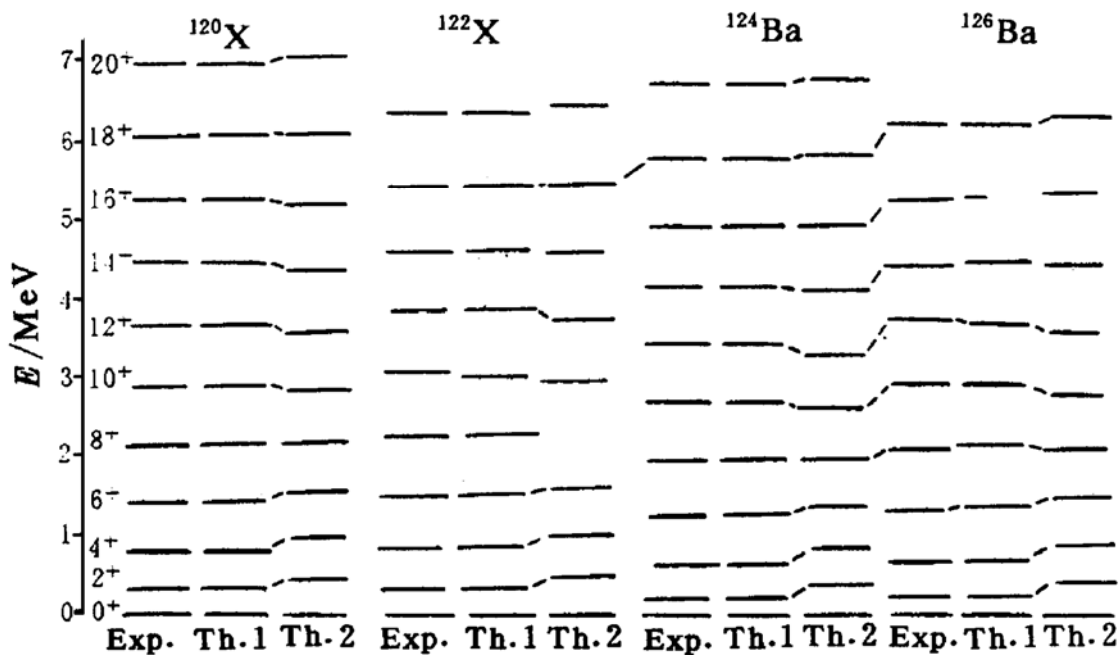


图 1  $^{120,122}\text{Xe}$  和  $^{124,126}\text{Ba}$  的实验能谱与理论能谱的比较

加上三体势后, 各理论的  $J-\omega^2$  曲线与实验  $J-\omega^2$  曲线有相当满意的吻合, 这说明在  $O(6)$  极限中引入三体相互作用能很好的揭示中等质量区原子核中 Yrast 带的回弯特征. (2) 三体势对  $J-\omega^2$  曲线的贡献表现为在低自旋区近似于直线, 在  $L=8\sim 10\hbar$  区间内, 曲线急剧上升. 当  $J$  增大时,  $\omega$  反而减小, 曲线向小  $\omega$

方面弯转, 尔后再弯向大  $\omega$  方面. (3) 典型的  $O(6)$  极限不能描述 Yrast 带的回弯现象, 除  $^{130}\text{Xe}$  外, 计算的  $J-\omega^2$  曲线几乎近似直线, 体现不出 Yrast 带的回弯. (4) 用 Th. 2 计算的参数比值的绝对值  $|B/C|$  呈现出一定的规律: 当  $|B/C| = 4$  时,  $J-\omega^2$  曲线变成一条直线; 当  $|B/C| > 4$  时,  $J-\omega^2$  曲线为略微向上凸起

表 1  $O(6)+V_3$  与典型的  $O(6)$  极限计算 Yrast 带的参数, 单位: keV

核素	Th. 1					Th. 2		
	$B$	$C$	$D$	$F$	$ B/C $	$B$	$C$	$ B/C $
$^{120}\text{Xe}$	40.47	28.80	-2.72	0.20	1.40	163.19	-33.73	4.84
$^{122}\text{Xe}$	14.93	49.58	-4.52	0.35	0.30	162.70	-32.60	4.99
$^{124}\text{Xe}$	113.81	-22.14	3.03	-0.31	5.14	142.13	-23.77	5.98
$^{126}\text{Xe}$	48.20	36.46	-3.70	0.27	1.32	188.54	-40.36	4.67
$^{128}\text{Xe}$	110.18	2.85	-1.51	0.74	38.59	200.37	-44.43	4.51
$^{130}\text{Xe}$	260.87	-110.90	13.60	-1.41	2.35	266.99	-66.01	3.87
$^{124}\text{Ba}$	-27.06	61.30	-4.38	0.33	0.44	135.16	-25.73	5.25
$^{126}\text{Ba}$	-47.45	78.95	-5.73	0.44	0.60	146.46	-27.90	5.25
$^{128}\text{Ba}$	10.22	42.03	-2.54	0.17	0.24	147.96	-27.13	5.45
$^{130}\text{Ba}$	49.68	30.47	-2.82	0.20	1.63	165.67	-31.98	5.18

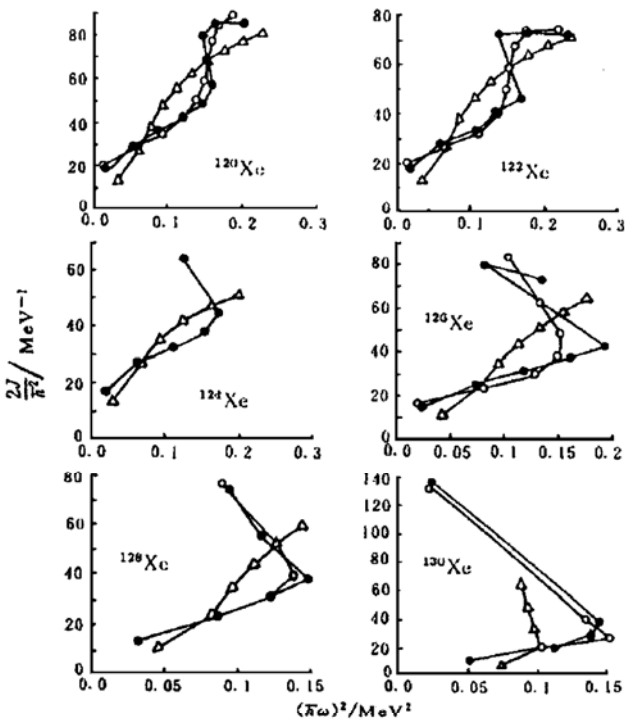


图 2  $^{123\sim 130}\text{Xe}$  的  $J-\omega^2$  标绘

的曲线; 当  $|B/C| < 4$  时,  $J-\omega^2$  曲线表现出当角动量  $L$  增大到某一特定值时,  $J$  增大,  $\omega$  反而急剧减小. 对于  $^{130}\text{Xe}$ , 它的  $|B/C| = 3.87$ , 因此在图中出现后弯. 但整体上不能很好地描述  $^{130}\text{Xe}$  的 Yrast 带的回弯特征. 而用 Th. 1 计算的参数比值的绝对值  $|B/C|$  无此规律.

总之, 从能谱和 Yrast 带的回弯特征以

及参数  $B$  与  $C$  的比值规律来看, 等效三体势  $V_3$  对  $O(6)$  极限造成了一定程度的破缺, 对  $O(6)$  核能谱有明显的改善, 比较理想地描述了 Yrast 带的回弯特征, 其结果好于文献[4, 12, 13]对这些核的 Yrast 带的回弯特征描述. 但是, 加上等效三体势后, 理论回弯特征与实验回弯特征仍存在一定的偏差, 这说明单用对称性破缺难以完善地描述回弯现象, 只能反映回弯的主要特征. 可以预料, 引入适当的带混合后可以进一步改善对回弯的描述.

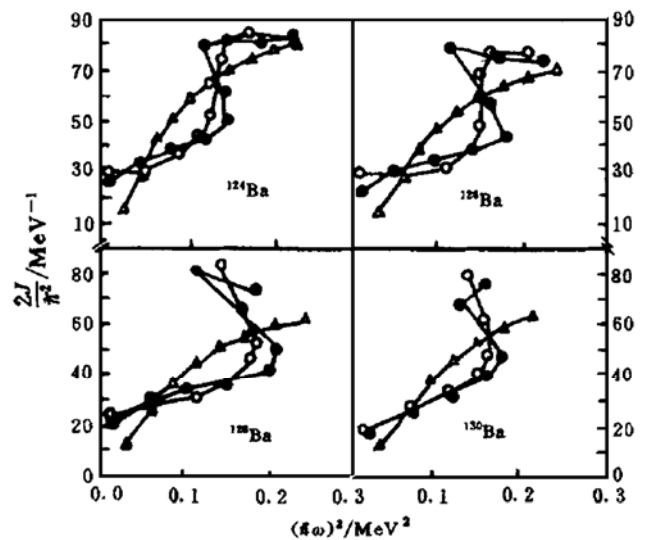


图 3  $^{124\sim 130}\text{Ba}$  的  $J-\omega^2$  标绘

## 参 考 文 献

- 1 Garcia-Ramos J E, Alonso C E, Arias J M *et al.* Anharmonic Double- $\gamma$  Vibrations in Nuclei and Their Description in the Interacting Boson Model. *Ganil*, 1998 (25): 1~12
- 2 Liao Jizi, Wang Huangsheng. Broken  $O(6)$  Symmetry of IBM1 with Three-body Potential. *Phys Rev*, 1994, C49(4): 2 465~2 471
- 3 王黄生, 廖继志. 带三体势的 IBM1 的  $O(6)$  极限对偶偶 Pt 核的应用. *高能物理与核物理*. 1994, 18(1): 91~96
- 4 Kusakari H, Kitao K, Sato K *et al.* High Spin States in Even-mass Xe Nuclei and Backbending Phenomena. *Nucl Phys*, 1983, A401: 445~459
- 5 Tormanen S. Competing Proton and Neutron Alignments in Neutron-deficient Xe - Nuclei. *Nucl Phys*, 1994, A572: 417~458
- 6 Serris M. High Spin Structures of in  $^{122}\text{Xe}$ . *Z Phys*, 1997, A358: 37~45
- 7 Leberz W, Freund S, Grandrath A *et al.* High Spin States in  $^{126}\text{Xe}$ . *Z Phys*, 1988, A330: 221~222
- 8 Pilotte S. Rotational Bands and Shape Changes in  $^{124}\text{Ba}$ . *Nucl Phys*, 1990, A514: 545~563
- 9 Schiffer K, Dewald A, Reinhardt R *et al.* Two-quasi-particle Bands in  $^{126}\text{Ba}$ . *Z Phys*, 1987, A327: 251~265
- 10 Neuneyer U, Wolters H, Dewald A *et al.* High Spin States in  $^{128}\text{Ba}$ . *Z Phys*, 1990, A336: 245~246
- 11 Sun X F. Band Crossing in  $^{130}\text{Ba}$ . *Phys Rev*, 1983, C28: 1 167~1 170
- 12 Kusakari H, Sugawara M. Study of  $^{122\sim 130}\text{Xe}$  with the Extended Interacting-boson Approximation. *Z Phys*, 1984, A317: 287~290
- 13 Yoshida N, Arima A. Recription of High-spin States in the Interacting Boson Model. *Phys Lett*. 1982, 114B: 86~90

## Study of Backbending Phenomena in Yrast Bands of $^{120\sim 130}\text{Xe}$ , $^{124\sim 130}\text{Ba}$ with $O(6)$ Limit of IBM1 Containing Three-body Potential

Liu Yingtai

(Department of Physics, Jining Teachers College, Shandong Jining 272125)

Han Yong Xu Yanbing Liao Jizhi

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064)

**Abstract** The Yrast band energy spectra of even-even nuclei  $^{120\sim 130}\text{Xe}$  and  $^{124\sim 130}\text{Ba}$  are calculated by using the  $O(6)$  limit of IBM1 containing three-body potential. It shows that the backbending characteristics in the Yrast bands can be described fairly by  $O(6)+V_3$ .

**Key words** equivalent three-body potential Yrast band backbending phenomena

**Classifying number** O571.23