

关于 $^{162,164}\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$, ^{168}Hf 诸核的回弯机制

张敬业

张锡珍

(中国科学院近代物理研究所)

(中国科学院原子能研究所)

摘 要

通过对相邻奇 A 核转动带的回弯行为的分析,无法肯定 $^{162,164}\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$, ^{168}Hf 诸核的回弯机制。本文利用 HFB 推转模型,计算了这些核的排列角动量 $i(\omega)$ 和回弯的临界角频率 ω_c ,探讨了阻塞效应的影响,通过和实验值的比较,确定了它们出现回弯均是由于一对 $i_{13/2}$ 中子转动排列的结果。

一、

关于偶偶核 γ_{rast} 带的转动惯量与转动频率平方 ($\mathcal{I} \sim \omega^2$)^[1] 关系图上出现回弯的机制, Grosse, Stephens 和 Diamond (GSD) 指出^[2], 可以通过分析相邻奇 A 核有关转动带的回弯行为来加以确定。他们指出, 因为奇核子的存在会减弱对关联, 所以, 如果相邻偶偶核的回弯是由于对崩溃^[2]所致的话, 那么奇 A 核出现回弯应更早些 (I_c 或 ω_c 小些); 反之, 如果相邻偶偶核出现回弯是由于某条 i 轨道上一对核子的转动排列^[3], 那么占据该 i 轨道的该种奇核子将妨碍核内中子核子对的转动排列, 从而使得奇 A 核的有关转动带的回弯出现得晚些 (I_c 或 ω_c 大些)。

但是, 正如文 [4] 所指出的, 这种判断并不始终是可靠的。因为奇核子的存在, 不仅会影响整个原子核内对关联的状况, 也会影响核内长程相互作用状况, 从而使得奇 A 核和相邻偶偶核的形变、软度、转动惯量以及 S 带和 G 带的相互作用强度均可能有所不同。实验上, 利用 GSD 的想法去判断偶偶核的回弯机制也确实遇到了一些困难^[4]。

例如: $^{163,165}_{69}\text{Tm}$ ^[5,6] 和 $^{167,169}_{71}\text{Lu}$ ^[7] 诸核的 $\pi h_{9/2}(1/2^- [541])$ 带不出现回弯, 于是根据 GSD 的观点, 相邻偶偶核 $^{162,164}_{68}\text{Er}$, $^{164,166}_{70}\text{Yb}$ 和 $^{168}_{72}\text{Hf}$ 等出现回弯, 是由于一对 $h_{9/2}$ 质子转动排列的结果。但是, $^{163,165,167}_{68}\text{Yb}$ ^[8] 和 $^{169}_{71}\text{Hf}$ ^[9] 的 $\nu i_{13/2}$ 脱耦合带也不出现回弯, 于是根据 GSD 观点, 又得认为上述相邻偶偶核出现回弯是由于一对 $i_{13/2}$ 中子转动排列的结果。另外, $^{167}_{69}\text{Hf}$ $\nu i_{13/2}$ 带出现回弯^[10]的推论, 又和 $^{169}_{71}\text{Hf}$ $\nu i_{13/2}$ 带不出现回弯的推论相矛盾。

那么, $^{162,164}\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$, ^{168}Hf 诸核出现回弯, 究竟原因是什么呢?

本文 1980 年 4 月 22 日收到。

1) 本文令 $\hbar = 1$ 。

二、

已知 $^{111}162,164\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$, ^{168}Hf 诸核在回弯区的 $B(E2)$ 值均无大的减速 (Retardation) 效应, $R(E2, I_c \rightarrow I_c - 2) \equiv B(E2, I_c \rightarrow I_c - 2)/B_{\text{rot}}(E2, I_c \rightarrow I_c - 2) \geq 0.65$, 根据关于回弯机制的 k_1, k_2 判据^[12,13], 可以判断这些核出现回弯不是由于形状相变, 而主要是由于转动排列和(或者)对崩溃. 由于一般理论估计对崩溃要发生在更高的 I_c 值^[21], 因此可以进而肯定, 这些核出现回弯的主要原因是转动排列.

为了进而确定究竟是哪一对核子的转动排列, 可以分析排列角动量 $i(\omega)$ ^[14], 如文 [15] 所指出的, 实验 Y_{rast} 谱所提取出来的 $i_{\text{exp}}(\omega)$ 包含着各种可能机制, 如对崩溃效应、转动排列效应和形状相变等的贡献. 因此, 如果我们从理论上能计算出某一双准粒子带的排列角动量 $i_{\text{theo}}(\omega)$, 并且有 $i_{\text{theo}} \approx i_{\text{exp}}$ 和 $\omega_c^{\text{theo}} \approx \omega_c^{\text{exp}}$, 那么我们可以说, 正是那一条轨道上的该种核子对的转动排列导致回弯的出现^[16,17].

利用 HFB 推转模型^[18], 可以计算排列角动量 $i(\omega)$, 这方面已有许多工作^[16-20]. 本文计算所用的哈密顿量与引文 [16-20] 的一样, 即:

$$H^{\text{HFBC}} = \sum_{\alpha} (\epsilon_{\alpha} - \lambda) a_{\alpha}^{\dagger} a_{\alpha} + \frac{1}{2} \Delta \sum_{\alpha\beta} \delta(\alpha\beta) (a_{\alpha}^{\dagger} a_{\beta}^{\dagger} + a_{\beta} a_{\alpha}) - \omega \sum_{\alpha\beta} \langle \alpha | j_x | \beta \rangle a_{\alpha}^{\dagger} a_{\beta}^{\dagger}$$

表 1

核	轨道	有无阻塞	i_{theo}	$\omega_c^{\text{theo}}/\omega_0^*$	i_{exp}	$\omega_c^{\text{exp}}/\omega_0$
$^{162}\text{Er}_{94}$	$\nu i_{13/2}$	无阻塞	8.43	0.013	~8.6	~0.037
		5/2[642]阻塞	4.07	0.075		
	$\pi h_{9/2}$	无阻塞	5.21	0.077		
^{164}Er	$\nu i_{13/2}$	无阻塞	8.08	0.042	~8	~0.036
		5/2[642]阻塞	3.69	0.084		
	$\pi h_{9/2}$	无阻塞	5.13	0.075		
$^{166}\text{Yb}_{94}$	$\nu i_{13/2}$	无阻塞	10.19	0.036	~9.5	~0.036
		5/2[642]阻塞	5.79	≥ 0.084		
	$\pi h_{9/2}$	无阻塞	6.26	0.084		
^{166}Yb	$\nu i_{13/2}$	无阻塞	8.58	0.046	~9	~0.037
		5/2[642]阻塞	4.05	0.082		
	$\pi h_{9/2}$	无阻塞	6.26	0.072		
$^{168}\text{Hf}_{96}$	$\nu i_{13/2}$	无阻塞	8.76	0.046	>8.8	~0.035
		5/2[642]阻塞	4.19	0.088		
	$\pi h_{9/2}$	无阻塞	5.59	0.078		
		1/2[541]阻塞	5.73	0.078		

* $\omega_0 = 41A^{-1/3}\text{MeV}$

计算中形变和能隙均取常数,因此可以认为计算所得的排列角动量 i_{theo} , 只是转动排列的贡献^[16,17]. 为了探讨阻塞效应,我们还计算了某条轨道被阻塞后所得的二准粒子带排列角动量和临界转动频率. 所得结果见表1.

三、

由表1可得出如下结论:

1. $^{162,164}\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$, ^{168}Hf , 这几个核出现回弯, 主要是由于一对 $i_{13/2}$ 中子转动排列所致.

2. 当 $i_{13/2}$ 的 $\frac{5}{2}$ [642] 中子轨道被阻塞后, 排列角动量明显降低, 且 ω_c 明显增大, 这也许正大致对应于 $^{163,165,167}\text{Yb}$, ^{169}Hf 诸核的 $\nu i_{13/2}$ 脱耦合带一直到 $\omega_c/\omega_0 \approx 0.04$ 还未发现回弯的实验事实. 当然, 正如图文[4]所指出的, 奇 A 核的偶偶核和相邻偶偶核是有区别的, 所以这儿关于阻塞效应的估计是近似的.

3. $h_{9/2}$ 质子对转动排列所给出的 i_{theo} 比较小, 不能解释实验观察值, 而且 ω_c^{theo} 也比 ω_c^{exp} 大得比较多, 所以它不是这些核出现回弯的主要原因.

4. 至于 $^{163,165}\text{Tm}$, $^{167,169}\text{Lu}$ 诸核的 $\pi h_{9/2}(1/2[541])$ 带不出现回弯, 如图文[4]所指出的, 可能是由于该轨道上奇质子的存在, 导致了原子核变形等的变化, 从而改变了中子 $i_{13/2}$ 轨道的分布状况, 使此轨道上的中子对转动排列变得困难了. 而不是由于 $\pi h_{9/2}(1/2[541])$ 轨道被阻塞, 使得 $h_{9/2}$ 质子对难于转动排列所致. 因为, 如第三点所指出的, $h_{9/2}$ 质子对本来就给不出足够大的排列角动量和适当的 ω_c 值. 而且, 例如 ^{168}Hf , 当 $\pi h_{9/2}(1/2[541])$ 轨道被阻塞后, $h_{9/2}$ 质子对的排列角动量 i_{theo} 和临界频率 ω_c^{theo} 值并无甚变化, 这进一步表明有无 $h_{9/2}$ 奇质子阻塞, 对于这些核的有关转动带是否出现回弯并不产生重要影响.

^{168}Hf 回弯区 g 因子的理论计算和实验结果的比较表明^[12,13], $i_{13/2}$ 中子对的转动排列确实是 ^{168}Hf 核出现回弯的主要原因, 支持了本文的看法.

参 考 文 献

- [1] E. Grosse, F. S. Stephens and R. M. Diamond, *Phys. Rev. Lett.*, **31**(1973), 840.
- [2] B. Mottelson and J. G. Valatin, *Phys. Rev. Lett.*, **5**(1960), 511.
- [3] F. S. Stephens and R. S. Simon, *Nucl. Phys.*, **A183**(1972), 157.
F. S. Stephens, *Rev. Mod. Phys.*, **47**(1975), 43.
- [4] 张敬业(待发表).
- [5] C. Foin et al., *Nucl. Phys.*, **A289**(1977), 77.
- [6] C. Foin et al., *Phys. Rev. Lett.*, **35**(1975), 1697.
- [7] C. Foin et al., *Nucl. Phys.*, **A199**(1973), 129; *Phys. Rev. Lett.*, **33**(1974), 1049.
- [8] L. Richer et al., *Phys. Lett.*, **71B**(1977), 74.
- [9] I. Rezonka et al., *Phys. Rev.*, **C11**(1975), 1767.
- [10] S. A. Hjorth et al., 引自文献[5].
- [11] R. M. Lieder and H. Ryde, *Adv. Nucl. Phys.*, **V10**, chap. 1; B. Bochev et al., *Nucl. Phys.*, **A267**(1976), 344; *ibid.*, **A282**(1977), 159.
- [12] 张敬业, 李君清, 高元义, 高能物理与核物理, **2**(1978), 67; 张敬业, 高能物理与核物理, **2**(1978), 558.
- [13] 徐躬耦, 张敬业, *Nucl. Phys.*, **A** (1980).
- [14] A. Bohr and B. Mottelson, *Proc. Conf. Nucl. Phys.*, Tokyo (1977), p. 157.

- [15] 张敬业, 高能物理与核物理, 4(1980).
 [16] 张锡珍, 张敬业, 原子核物理, (1980).
 [17] 张敬业, 张锡珍(待发表).
 [18] I. Hamamoto, *Nucl. Phys.*, A271(1976), 15.
 [19] R. Bengtsson and S. Frauendorf, *Nordita Preprint* 78/45.
 [20] 张锡珍, 陈永寿, 高能物理与核物理, 4(1980), 103.
 [21] R. A. Sorensen, *Rev. Mod. Phys.*, 45(1973), 353.

ON THE MECHANISM OF BACKBENDING IN NUCLEI

$^{162,164}\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$, AND ^{168}Hf

ZHANG JING-YE

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica*)

ZHANG XI-ZHEN

(*Institute of Atomic Energy, Academia Sinica*)

ABSTRACT

Grosse, Stephens and Diamond stated out, based on the analysis of the behavior of backbending in odd A nuclei, the mechanism of backbending for even-even neighbors can be determined.

In fact, however, there exist some difficulties. For instance, it is unable to determine the mechanism of backbending for nuclei $^{162,164}\text{Er}$, $^{164,166}\text{Yb}$ and ^{168}Hf through such an analysis. In this letter, using HFB Cranking model, the aligned angular momentum $i(\omega)$ and critical rotation frequency ω_c have been calculated with some consideration of the blocking effect. Through a comparison between theoretical results and experimental data, it can be concluded that the backbending occurring in these nuclei is mainly caused by the rotation alignment of a $\nu i_{13/2}$ pair, not a $\pi h_{9/2}$ pair.