

$A \sim 100$ 区奇奇核手征候选带的检验*

王守宇¹ 张双全^{1,2} 亓斌¹ 孟杰^{1,2,3;1)}

1(北京大学物理学院 北京 100871)

2(中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

3(兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心 兰州 730000)

摘要 基于一个粒子与一个空穴和三轴转子相耦合的手征图像, 可得到关于理想手征带的 6 条判据. 利用 6 条判据, 检验了 100 区奇奇核的两个候选手征带: ^{104}Rh 和 ^{106}Rh 的候选手征带. 研究表明虽然 ^{104}Rh 的双带比 ^{106}Rh 更简并, 但 ^{106}Rh 比 ^{104}Rh 满足更多的理想手征判据. 这表明具有部分能级近简并 ($< 50\text{keV}$) 的双带结构并不一定比保持恒定能量差 (200—300keV) 的双带接近理想手征带.

关键词 手征双重带 能谱 跃迁几率 顺排角动量

1 引言

1997 年, Frauendorf 和孟杰首次讨论了原子核的手征对称性问题, 并且预言了三轴形变原子核由于手征对称性破缺会形成两条近简并的 $\Delta I=1$ 的转动带, 称之为手征双重带^[1]. 近年来, 实验工作者在 $A \sim 130$ 和 $A \sim 100$ 核区的奇奇核中建议了十多例手征双重带的候选带^[2-6]. 迄今, ^{134}Pr 和 ^{104}Rh 分别是 $A \sim 130$ 和 $A \sim 100$ 核区观测到的双带激发能差最小核, 在自旋为 15^+ 和 17^- 处激发能差分别仅为 36 和 2keV. 因此 ^{134}Pr 和 ^{104}Rh 被分别认为是 $A \sim 130$ 和 $A \sim 100$ 核区最佳的手征候选核. 但是, 最近 ^{134}Pr 寿命测量实验结果表明, ^{134}Pr 双带的带内 $B(E2)$ 值相差 2—3 倍^[7], 这显然与手征带的解释相矛盾. 对于理想的手征双重带, 主带和伴带应该具有全同或者十分类似的能谱、电磁跃迁几率和角动量顺排.

对于 ^{134}Pr 核, 即使不进行寿命测量我们也能够推知双带的电磁跃迁数据是不同的, 因为通过符合测量实验已经知道了 ^{134}Pr 双带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值是明显不同的^[8], 因此可以推知或者 $B(M1)$ 不同或者 $B(E2)$ 不同, 也可能两者均不同. 类似的, 我们想要知道的是在没有寿命数据的前提下, $A \sim 100$ 核区的手征候选带是否满足理想手征判据. 在这篇文章里, 我们将利用理想手征判据来检验 ^{104}Rh , ^{106}Rh 的手征候

选带.

2 检验 ^{104}Rh 和 ^{106}Rh 的手征候选带

随着手征带实验和理论研究的逐渐深入, 基于一个粒子与一个空穴和三轴转子相耦合的手征图像, 一系列组态无关的理想手征判据被不同的研究组陆续建议^[1,4,9-11], 归纳如下:

- (i) 双带能级近简并;
- (ii) 几乎恒定的 $S(I)$ 值 ($S(I)$ 定义为 $[E(I) - E(I-1)]/2I$);
- (iii) $B(M1)/B(E2)$ 比值的奇偶自旋摇摆效应;
- (iv) 双带的 $B(M1)$ 和 $B(E2)$ 值接近, 即接近的 $B(M1)/B(E2)$ 比值;
- (v) 双带具有类似的顺排角动量;
- (vi) 在较高自旋区, 双带的带内 $B(E2)$ 为 0.

利用这 6 条理想手征判据来检验 $A \sim 100$ 核区奇奇核 ^{104}Rh , ^{106}Rh 中观测到的候选手征双重带.

近来的实验研究在 $A \sim 100$ 核区奇奇核 ^{104}Rh , ^{106}Rh 中观测到了基于 $\pi g_{9/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态的候选手征双重带^[4,5]. 其中, ^{104}Rh 双带的实验结果很好的符合最初被建议的前 3 条手征判据, 而且 ^{104}Rh 双带相同自旋下的激发能差很小 (在自旋为 17^- 处, 激发能差仅为 $\sim 2\text{keV}$), 是迄今为止观测到的简并最好的双带结构, 通常被认为是手征双重带的最佳情况. 但是, 我们注

* 国家自然科学基金(10435010, 10221003, 10505002)和教育部博士点基金资助

1) E-mail: mengj@pku.edu.cn

意到 ^{104}Rh 主带和伴带的带内 $B(M1)/B(E2)$ 比值是明显不同的. 如图1(a), 主带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值约为伴带 $B(M1)/B(E2)$ 比值的二倍左右. 这显然不满足上面提到的第4条理想手征判据. 此外, 如图1(d)所示, 伴带的顺排角动量值在实验观测到的自旋范围内均比主带大 $2\hbar$, 也不符合第5条手征判据. 理想情况下的手征带, 主带和伴带之间的带间 $B(E2, I \rightarrow I-2)$ 值应该为零. 然而从文献[4]的能级纲图能够看到, 在实验观测到的整个自旋区间, ^{104}Rh 双带之间不仅观测到了较强的带间M1跃迁, 而且也观测到与之强度相当的带间E2跃迁. 综上所述, ^{104}Rh 双带的实验结果并不满足理想手征判据(iv), (v)和(vi). 因此, ^{104}Rh 中观测到的双带结构并不能被考虑作为理想的手征双重带.

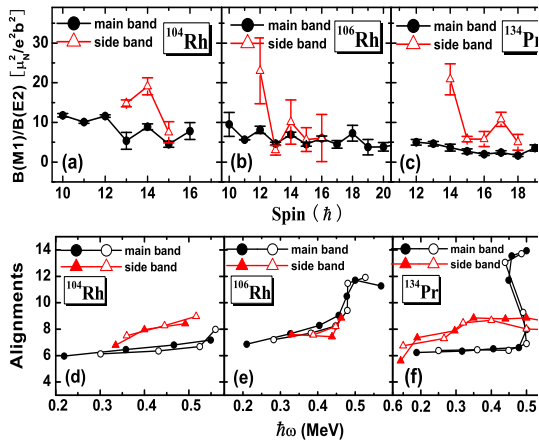


图1 ^{104}Rh ^[4], ^{106}Rh ^[5]及 ^{134}Pr ^[8, 12]双带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值随自旋和顺排角动量随转动频率的变化关系

从文献[5]可以看出对于双奇核 ^{106}Rh 的候选手征双重带, 双带相同自旋下的激发能差几乎恒定的保持在300keV左右, 双带的 $S(I)$ 值随自旋的增加没有明显的变化, 双带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值表现出显著的奇偶自旋摇摆效应, 较好的符合前3条手征判据. 值得注意的是, 除了自旋为 $12\hbar$ 点之外, ^{106}Rh 双带的带内 $B(M1)/B(E2)$ 比值是十分接近的, 并且双带的顺排角动量曲线在回弯之前是重叠的, 有接近的数值, 如图1(b)和(e)所示, 较好的满足了理想手征判据(iv)和(v). 此外, 从文献[5]的能级纲图中可以看出, 在较高自旋区间, 双带间并没有观测到E2连接跃迁, 符合理想手征判据(vi). 基于上面的讨论, 已知的 ^{106}Rh 手征双重带实验结果均能满足前面提到的手征判据. 如表1所示, ^{106}Rh 的双带比 ^{104}Rh 满足更多的理想手征判据, ^{106}Rh 的双带结构比 ^{104}Rh 的双带更接近理想手征带. 这进一步表明具有部分能级近简并($< 50\text{keV}$)的

双带结构并不一定比保持恒定能量差(200—300keV)的双带接近理想手征带. 这条结论同样适用于130区的手征候选带, 如 $^{124, 126, 128, 130}\text{Cs}$ 的双带结构比 ^{134}Pr 的双带更接近理想手征带^[6].

表1 检验 ^{104}Rh , ^{106}Rh 和 ^{134}Pr 的候选手征带

理想手征判据	^{104}Rh	^{106}Rh	^{134}Pr
近简并的双带结构	✓	✓	✓
几乎恒定的 $S(I)$ 值	✓	✓	✓
$B(M1)/B(E2)$ 比值的奇偶摇摆效应	✓	✓	×
近似相同的 $B(M1)/B(E2)$ 比值	×	✓	×
近似相同的顺排角动量值	×	✓	×
较高自旋区, 双带的带间 $B(E2)=0$	×	✓	×

3 ^{104}Rh 和 ^{134}Pr 候选手征带的比较

如果 ^{104}Rh 观测到的双带结构不是手征双重带, 那么它的物理机制又是什么呢? 我们注意到 ^{104}Rh 的实验结果与 ^{134}Pr 的结果很相似. 它们具有如下的共同特征: (1) 从能谱上看, ^{104}Rh 和 ^{134}Pr 双带在带交叉之前的能谱十分相似. (2) 从电磁跃迁上看, 伴带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值明显比主带大. (3) 从顺排角动量上看, 在回弯之前伴带的顺排角动量曲线比主带大 $2\hbar$ 左右. (4) 从能级纲图上看, 在实验观测到自旋范围内, 均观测到了较强的带间E2跃迁. ^{104}Rh 和 ^{134}Pr 的双带结构有相似的能级、电磁性质和顺排角动量, 表明它们可能具有共同的物理机制.

在文献[7]报道的 ^{134}Pr 的寿命实验中, ^{134}Pr 双带的 $B(E2)$ 值是明显不同的, 而 ^{134}Pr 双带的 $B(M1)$ 在实验误差允许的范围内有接近的数值. 因此, ^{134}Pr 双带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值的差异主要是因为 $B(E2)$ 值的差异造成的. 类似于 ^{134}Pr , 假定 ^{104}Rh 双带 $B(M1)/B(E2)$ 比值明显不同主要来源于 $B(E2)$ 值的不同. 因此从实验观测到的 $B(M1)/B(E2)$ 比值的2倍差异能够推知 $B(E2)$ 值的2倍差异. $B(E2)$ 能够表达为如下形式^[13]:

$$B(E2; I_i K \rightarrow I_f K) = \frac{5}{16\pi} e^2 Q_0^2 \langle I_i K 2 0 | I_f K \rangle^2. \quad (1)$$

因此, 如果 ^{104}Rh 双带的 $B(E2)$ 值差2倍, 能够得到 $Q_{0,\text{main}}/Q_{0,\text{side}} \simeq 1.4$, 而 Q_0 值的不同表明它们的形状是不同的. 因此, 形状共存很可能是 ^{104}Rh 双带的形成机制. 这需要进一步的理论和实验工作来证实.

4 小结

基于一个粒子与一个空穴和三轴转子相耦合的

手征图像, 得到6条理想手征带的判据. 利用这6条理想手征带判据, 我们检验了100区奇奇核的两个候选手征带: ^{104}Rh 和 ^{106}Rh 的候选手征带. 研究表明虽然 ^{104}Rh 的双带比 ^{106}Rh 更简并, 但 ^{106}Rh 比 ^{104}Rh 满

足更多的理想手征判据. 这表明具有部分能级近简并 ($< 50\text{keV}$) 的双带结构并不一定比保持恒定能量差 ($200\text{--}300\text{keV}$) 的双带接近理想手征带. 这条结论同样适用于130区的手征候选带.

参考文献(References)

- 1 Frauendorf S, MENG J. Nucl. Phys., 1997, **A617**: 131
- 2 Starosta K, Koike T, Chiara C J et al. Phys. Rev. Lett., 2001, **86**: 971
- 3 Starosta K, Koike T, Chiara C J et al. Phys. Rev., 2001, **C63**: 061304(R)
- 4 Vaman C, Fossan D B, Koike T et al. Phys. Rev. Lett., 2004, **92**: 032501
- 5 Joshi P, Jenkins D G, Raddon P M et al. Phys. Lett., 2004, **B595**: 135
- 6 WANG S Y, LIU Y Z, Komatsubara T et al. Phys. Rev., 2006, **C74**: 017302
- 7 Tonev D, Angelis G, Petkov P et al. Phys. Rev. Lett., 2006, **96**: 052501
- 8 Petrache C M, Bazzacco D, Lunardi S et al. Nucl. Phys., 1996, **A597**: 106
- 9 Petrache C M, Hagemann G B, Hamamoto I et al. Phys. Rev. Lett., 2006, **96**: 112502
- 10 Koike T, Starosta K, Hamamoto I. Phys. Rev. Lett., 2004, **93**: 172502
- 11 PENG J, MENG J, ZHANG S Q. Phys. Rev., 2003, **C68**: 044324
- 12 Fossan D B, Koike T, Starosta K et al. 2002, Proceedings of Frontiers of Collective Motion 2002, Aizu
- 13 Bohr A, Mottelson B R. Nuclear Structure Benjamin, New York, 1975, Vol. 2

Examining the Chiral Geometry in $A \sim 100$ Odd-Odd Nuclei*

WANG Shou-Yu¹ ZHANG Shuang-Quan^{1,2} QI Bin¹ MENG Jie^{1,2,3,1)}

¹(School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

²(Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

³(Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator, Lanzhou 730000, China)

Abstract The criteria for chiral doublet bands obtained by assuming one proton (neutron) particle and one neutron (proton) hole sitting in a corresponding high- j shell coupled to a triaxial rotor with $\gamma = 30^\circ$ have been summarized. Two representative cases in $A \sim 100$ odd-odd nuclei, nearly degenerate $\Delta I = 1$ doublet bands in ^{104}Rh and ^{106}Rh are checked against these chiral criteria. It is shown that ^{106}Rh possesses better chiral geometry than ^{104}Rh , although the energy near degeneracy is achieved in ^{104}Rh in comparison with the constant energy separation of doublet bands in ^{106}Rh .

Key words chiral doublet bands, energy spectra, transition probability, alignment

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10435010, 10221003, 10505002) and Doctoral Program Foundation from Ministry of Education in China

1) E-mail: mengj@pku.edu.cn