

A ~ 160 区奇奇核 signature 反转的系统性初探*

文家焱¹, 杨增红¹, 文学义¹, 程南璞², 郑仁蓉³

(1. 广州舰艇学院基础部, 广东 广州 510431; 2. 西南师范大学物理系, 重庆 400715;

3. 上海师范大学理工信息学院, 上海 200234)

摘要: 利用粒子转子模型对 A ~ 160 质量区奇奇核的 signature 反转现象的系统性进行了初步的研究, 计算结果与实验值符合得很好, 并且表明质子-中子相互作用的逐渐变化对该区奇奇核的 signature 反转点的系统变化起着主要作用.

关键词: 粒子转子模型; 奇奇核; signature 反转; 系统性; 质子-中子相互作用

中图分类号: O571.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 04-0055-03

将 A ~ 160 区奇奇核的晕带能谱按同位素系列和同中子素系列排列起来后, 该区奇奇核 signature 反转点的变化呈现出明显的规律性. 例如在一同位素链中, signature 反转点随中子数的增加依次下降约 2h 左右, 而对一同中子素链而言, 随着质子数增加, signature 反转点则依次上升约 2h 左右. 该区奇奇核的 signature 反转点为什么会呈现如此美妙的变化规律? 这是一个很值得研究的问题. 但目前为止, 对奇奇核 signature 反转现象系统性研究尚处于对实验数据的分析阶段, 理论上目前一般只是对一个核或几个核的 signature 反转机制进行了解释, 而对其系统性的研究尚未进行. 显而易见地, 对奇奇核 signature 反转系统性的理论研究, 其意义已经远远超过了对某一个或几个核的 signature 反转机制的理论解释. 鉴于此, 本文拟对 A ~ 160 区奇奇核 signature 反转点的变化规律作出初步的研究, 并对奇奇核 signature 反转现象的系统性加以理论解释.

1 模型描述

在二准粒子加转子模型框架下, 奇奇核的哈密顿量为^[1]

$$H = H_{\text{rot}} + H_{\text{sp}} + H_{\text{sn}} = H_{\text{rot}} + \sum_p e_p a_p^\dagger a_p + \sum_n e_n a_n^\dagger a_n \quad (1)$$

其中, H_{rot} 为转子哈密顿量, H_{sp} , H_{sn} 分别为处于转子外的考虑对关联后的单准质子和单准中子的哈密顿量, 转子哈密顿量可进一步写成:

$$H_{\text{rot}} = \left(\frac{1}{2g} \right) \sum_{k=1}^2 (I_k - j_{nk} - j_{pk})^2 = \frac{1}{2g} [(I^2 - I_3^2) + (j_n^2 - j_{n3}^2) + (j_p^2 - j_{p3}^2)] + \frac{1}{2g} (j_n - j_{p+} + j_n + j_{p-}) - \frac{1}{2g} (I_+ j_{n-} + I_- j_{n+} + I_+ j_{p-} + I_- j_{p+}) = H_0 + H_{\text{pnc}} + H_{\text{cor}} \quad (2)$$

(2) 式中 H_{pnc} 为 p-n 藕合相互作用项, H_{cor} 为 Coriolis 相互作用项, 从我们对其他区奇奇核的研究中可以看出, 这两项实际上对奇奇核发生 signature 反转具有至关重要的作用^[1,2].

单准粒子能采用标准 BCS 方法引入, 其具体形式为:

$$e_i = \sqrt{(\epsilon_i - v_i)^2 + \Delta_i^2} \quad (i = p, n) \quad (3)$$

用于对角化哈密顿量 H 的基矢为:

$$|IMK v_p v_n\rangle = \sqrt{\frac{2I+1}{16\pi^2}} \sum_{\Omega_p \Omega_n} S_{\Omega_p v_p}^{j_p} S_{\Omega_n v_n}^{j_n} \cdot [D_{MK}^I \chi_{\Omega_p}^{j_p} \chi_{\Omega_n}^{j_n} + (-1)^{I-j_p-j_n} D_{M-K}^I \chi_{\Omega_p}^{j_p} \chi_{\Omega_n}^{j_n}] \quad (4)$$

将哈密顿量 H 在所选用的基矢空间中对角化, 即可求得晕带能谱.

2 理论分析

实验和理论分析认为 A ~ 160 区奇奇核晕带能谱一般是基于 $(\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2})$ 组态之上, 即对单质子, 其费米面一般位于 $h_{11/2}$ 子壳的某一个轨

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (19875040)

收稿日期: 2000-09-21; 作者简介: 文家焱 (1973-), 男, 讲师.

道, 单中子费米面位于 $i_{13/2}$ 子壳的某一个轨道. 对一同位素链来说, 质子费米面基本上可以认为是不变的, 而中子费米面却随着中子数的增加而逐渐增加, 从而质子费米面与中子费米面的距离逐渐减小, 这样造成的结果, 可能就是质子-中子相互作用的逐渐减小, 从而使 signature 反转点逐渐减小.

同理, 在一同中子素链中, 中子费米面是不变的, 而质子费米面却随着质子数的增加而逐渐“靠近”中子费米面, 因而质子-中子相互作用逐渐增大, 从而使 signature 反转点逐渐增加.

3 计算与讨论

根据前面的分析, 采用文献 [2] 中考虑质子-中子相互作用强度的方法, 本文首先对 Ho 同位素系列奇奇核的晕带能谱进行了研究, 并将理论计算值和实验值进行了比较, 计算结果与实验值的比较如图 1. 为了能够较清晰地观察每个核的 signature 反转点, 图中纵坐标被写成 $S(I)$ 的形式, $S(I)$ 的具体形式为 $S(I) = E(I) - E(I-1) - (E(I+1) - E(I) + E(I-1) - E(I-2))/2$. 计算中所取参数如表 1, 实验数据取自文献 [3~5].

表 1 6 个奇奇核晕带能谱的计算参量取值

Tab.1 Values of parameters for Yrast bands calculations of six nuclei

项目	^{156}Ho	^{158}Ho	^{160}Ho	^{162}Ho	^{156}Tb	^{160}Tm
$\lambda_p(\kappa)$	-0.42	-0.42	-0.42	-0.42	-0.41	-0.45
$\lambda_n(\kappa)$	-0.92	-0.90	-0.87	-0.84	-0.90	-0.90
$g(\kappa^{-1})$	62.00	62.60	62.50	63.50	63.10	55.00
C_2	1.30	1.15	1.00	1.00	1.3	1.00
C_3	0.80	0.80	0.80	0.95	0.83	0.80
κ/keV	1800	2000	2000	2000	2000	1800

除此以外, 本文对 3 个同中子数奇奇核 ^{156}Tb , ^{158}Ho , ^{160}Tm 的 $(\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2})$ 晕带能谱进行了理论计算, 计算中所取参量见表 1, 计算结果与实验值的比较如图 2, 实验数据分别取自文献 [4, 6, 7].

由图 1 和图 2 可以看出, 本文的理论计算结果与实验值符合得很好, 并准确地再现了每个核的 signature 反转点. 仔细分析表 1 中的 C_2 参数可以看出, 对于同位素核 ^{156}Ho , ^{158}Ho , ^{160}Ho , ^{162}Ho 来说, 与中子费米面逐渐变化相应的是系数 C_2

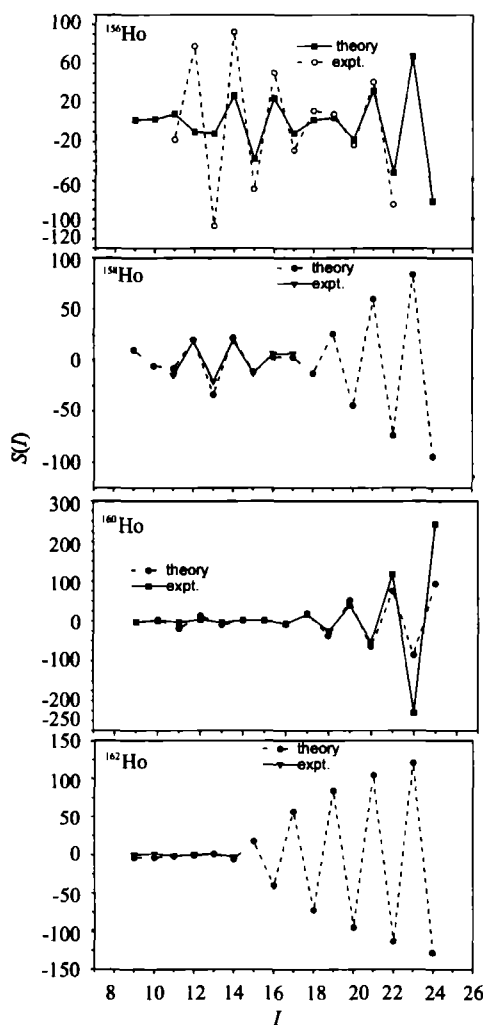


图 1 ^{156}Ho , ^{158}Ho , ^{160}Ho , ^{162}Ho 的晕带 $S(I)$ 随自旋 I 的变化关系及与实验值的比较

Fig.1 The dependence of $S(I)$ on spin I for ^{156}Ho , ^{158}Ho , ^{160}Ho and ^{162}Ho and the comparison with experimental values

的逐渐减少 (质子费米面不变), 即外加的质子-中子相互作用强度逐渐降低, 这种变化造成 signature 反转点逐渐下降. 相反地, 对同中子数核 ^{156}Tb , ^{158}Ho , ^{160}Tm 来说, 随着质子费米面的逐渐变化 (中子费米面不变), C_2 系数逐渐增大, 即质子-中子相互作用强度逐渐增大, 从而使 signature 反转点逐渐上升. 由这些分析, 我们可以作以一定的推断, 即逐渐变化的质子-中子相互作用强度造成了 $A \sim 160$ 区奇奇核 signature 反转点的规律变化.

4 结 语

利用二准粒子加轴对称转子模型, 本文对处

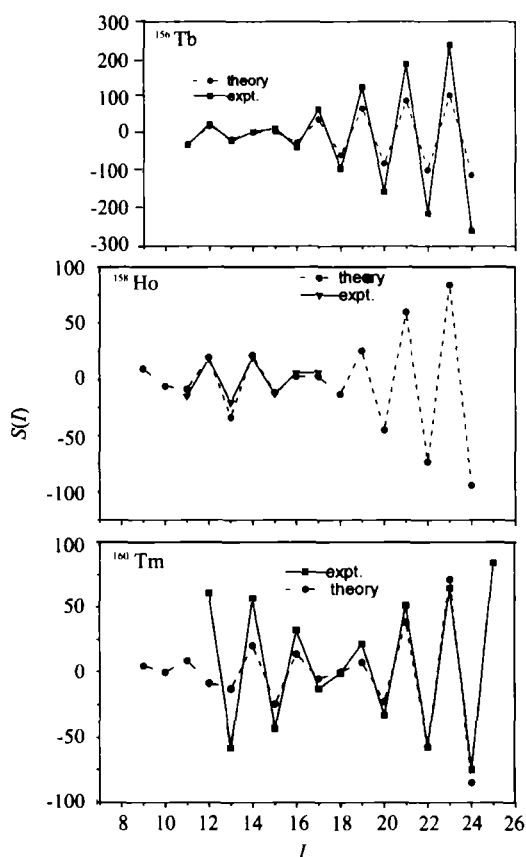


图2 A ~ 160 区 ^{156}Tb , ^{158}Ho , ^{160}Tm 的晕带 $S(I)$ 随自旋 I 的变化关系图及其与实验值的比较

Fig.2 The dependence of $S(I)$ on spin I for ^{156}Tb , ^{158}Ho and ^{160}Tm , and the comparison with experimental values

于 A ~ 160 区的同位素系列奇奇核 ^{156}Ho , ^{158}Ho , ^{160}Ho , ^{162}Ho 和同中子素系列奇奇核 ^{156}Tb , ^{158}Ho , ^{160}Tm 的晕带能谱进行了实际计算, 计算结果与实验值符合得很好. 对理论计算结果的分析表明: 质子-中子相互作用的逐渐变化可能是该区奇奇核的 signature 反转点呈现规律变化的重要原因.

参考文献:

- [1] ZHENG R R, ZHU S Q, PU Y W. Two quasiparticles plus rotor model calculation for odd odd nuclei in the A = 160 region[J]. Phys Rev, (1997), C56:175.
- [2] 文家焱, 郑仁蓉, 朱顺泉. A = 80 区双奇核的晕带能谱计算[J]. 物理学报, 1999, 48(3):433.
- [3] BHATTI S H, CHAC J C, CHAE S J. High-spin states of odd-odd ^{156}Ho [J]. Z Phys, 1995, A353:119.
- [4] ZK N R, BOUTET J, DEL J. High-spin in ^{158}Ho state[J]. Phys Lett, 1976, 37:197.
- [5] LEIGHT J R, STEPHENS F S, DIAMOND R M. Rotational bands in odd-odd Holmium Isotopes[J]. Phys Lett, 1970, B33:410.
- [6] BENGTTSSON R, PINSTON J A, BARNEOUD D, et al. High-spin states in the odd-odd ^{154}Tb and ^{156}Tb nuclei and the systematic for the $[i_{13/2}]_n [h_{11/2}]_p$ bands[J]. Nucl Phys, 1982, A389:158.
- [7] DRISSI S, BRUDER A, DOUSSE J Cl, et al. Systematic study of the yrast band in the doubly-odd $^{158}, ^{160}, ^{162}, ^{164}, ^{166}\text{Tm}$ nuclei[J]. Z Phys, 1989, A333:450.

The Systematic Trend of Signature Inversion in Odd-odd Nuclei around A ~ 160 Region

WEN Jia-yan¹, YANG Zeng-hong¹, WEN Xue-yi¹, CHENG Nan-pu², ZHENG Ren-rong³

(1. Department of Basic Studies, Guangzhou Naval Academy, Guangzhou 510431, China;

2. Department of Physics, Southwest Normal University, Chongqing 400715, China;

3. Science Technology and Information School, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Energy spectrum of yrast bands of odd-odd nuclei in the region of mass 160 are studied by particle-rotor model (PRM). The results indicate that the gradual change of p - n interaction is the main cause of the systematic of signature inversion.

Keywords: yrast band; odd - odd nuclei; systematic trend; particle-rotor models; spin