

文章编号: 1007-4627(2004)04-0360-03

$A \approx 100$ 和 130 核区手征双重带的描述*

彭 婧^{1,2}, 孟 杰^{1,2,3,#}, 张双全^{1,2}

(1 兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 甘肃 兰州 730000;

2 北京大学物理学院, 北京 100871;

3 中国科学院理论物理研究所, 北京 100080)

摘 要: 利用三轴形变的粒子-转子模型讨论了 $A \approx 100$ 和 $A \approx 130$ 核区手征双重带. 基于粒子空穴组态 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 的计算很好地再现了 $A \approx 130$ 核区 $N=75$ 同中子素的手征双重带实验能谱. 通过分析基于组态 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 的约化跃迁几率 $B(E2)$ 和 $B(M1)$ 研究 $A \approx 100$ 核区可能的手征双重带.

关键词: 手征双重带; 粒子-转子模型; 粒子空穴组态; 约化跃迁几率

中图分类号: O571.21 **文献标识码:** A

1 引言

众所周知, 手征性在自然界中普遍存在, 如宏观世界中的海螺壳、分子生物学的氨基酸和 DNA 分子、粒子物理中的中微子等皆有手征性. 手征双重带是原子核转动研究中继回弯现象、超形变转动带、磁转动后的又一新转动模式. 它对应着原子核手征对称性的破缺. 原子核的手征双重带是 1997 年 Frauendorf 和孟 杰从理论上预言^[1]的, 现在实验上已经发现多例.

对于价核子和三轴形变核芯组成的系统, 其总角动量由价核子和核芯的角动量叠加而成. 由于三轴形变核芯能在相应于粒子轨道的两个不同方向旋转, 因此核芯的角动量和价核子的角动量之间可以进行左手征或右手征的耦合. 原子核中的手征变换是时间反演算符和 180° 转动两个变换的组合, 相应的手征算符为 $\chi = TP$. 在理想情况下, 这两种等价的角动量的手征性分布是相互独立的, 基于相同的准粒子组态可以得到两条简并的能带.

本文将利用粒子-转子模型 (PRM) 从转动能谱以及电磁跃迁几率两个方面来研究 $A \approx 100$ 和 130 核区原子核的手征带.

2 数值计算

具体公式和数值处理参见文献[1-3]及文献中所引用的文献. 本文采用与文献[1-3]中相同的 PRM 来研究 $A \approx 100$ 和 130 核区原子核的手征性. 如果原子核的三轴形变为 $\gamma = 30^\circ$, 原子核沿三个主轴的半径满足 $R_1 < R_2 < R_3$, 从而可以分别将内禀系主轴 1, 2 和 3 标记为短(s), 中(i)和长(l)轴. 而沿三条转动轴的转动惯量之间的关系为: $\mathcal{J}_1 = \mathcal{J}_3 = \frac{1}{4}\mathcal{J}_2$, 所以集体转动角动量 R 倾向于沿 i 轴顺排, 以使转动能最小^[4]. 而转子外的价核子的顺排方式为: 具有粒子和空穴特征的价核子分别倾向于沿 s 轴和 l 轴顺排^[5]. 这样角动量的取向将使粒子密度与三轴势场的重叠最大化, 从而使相互作用能最小化, 它们合成的总角动量不在任一主轴平面上, 具有手征性. 在计算中, 参数 C 分别取为 0.175—0.21 MeV (对应形变 $\beta_2 = 0.11-0.13$), 转动惯量 \mathcal{J} 的具体取值参见本文结果讨论部分. 由于我们只关心 $B(M1)$ 和 $B(E2)$ 跃迁的变化趋势, 因此在计算中 g 因子 $g_{p(n)} - g_R$, 对质子和中子分别取为 1 和 -1, 内禀四极矩取为 $Q'_{20} = \cos\gamma$, $Q'_{22} = Q'_{2-2} = -\sin\gamma/\sqrt{2}$.

收稿日期: 2004 - 08 - 16

* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077407); 国家自然科学基金资助项目(10025522, 10221003, 10047001)

作者简介: 彭 婧(1967-), 女(汉族), 湖北云梦人, 博士研究生, 从事理论核物理研究.

联系人: 孟 杰, E-mail: mengj@pku.edu.cn

3 结果讨论

图 1 为基于粒子空穴组态 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 的 $N=75$ 同中子素 ^{130}Cs , ^{132}La , ^{134}Pr 和 ^{136}Pm 的计算能级与实验能级的比较. 实验数据和 γ 形变取自文献 [6], 计算转动惯量 \mathcal{J} 取 25 MeV^{-1} , 与文献 [6] 中 ϵ 形变相对应的参数 C 对 ^{130}Cs , ^{132}La , ^{134}Pr 和 ^{136}Pm 分别为 0.175 , 0.19 , 0.19 和 0.21 MeV . 为了便于比较, 取这四种核的计算能级之间的间距为 1.5 MeV , 而 ^{130}Cs , ^{132}La , ^{134}Pr 和 ^{136}Pm 的实验数据分别被平移了 -2.47 , -0.96 , $+0.45$ 和 $+1.80 \text{ MeV}$. 从图 1 可以看出, 对于 ^{134}Pr , 计算和实验能谱均在 $I=15 \hbar$ 表现出较好的简并现象, 即呈现出手征双重带特征. 而对于其他的三个 $N=75$ 的同中子素, 手征伙伴带与晕带之间都有能级差. 其中对于 ^{130}Cs 实验观测值在自旋区域 $11-15 \hbar$ 之间的能级差为 0.22 MeV , 计算的能级差为 0.25 MeV . 而实验测得的 ^{132}La 和 ^{136}Pm 的手征双重带之间能级差则比较大.

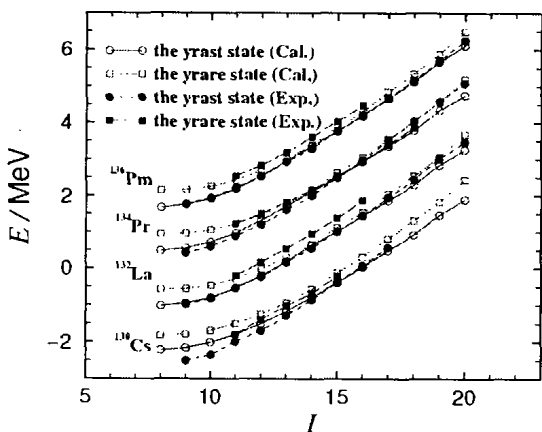


图 1 基于组态 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 的 $N=75$ 同中子素 ^{130}Cs , ^{132}La , ^{134}Pr 和 ^{136}Pm 的计算与实验能级的比较
空心符号对应于计算结果, 实心符号对应于实验数据. 圆圈代表晕带能谱, 方框代表第一激发带能谱.

图 2 给出了由 PRM 计算的基于粒子组态 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 的约化跃迁几率 $B(E2)$ 和 $B(M1)$. 计算中转动惯量取 30 MeV^{-1} , 形变参数 C 取 0.2 MeV . 可以看出, $B(E2)$ 和 $B(M1)$ 的变化可以分为三段, 分别是低自旋、最佳简并点附近和高自旋部分. 在低自旋部分, 对应于平面转动的情形, 转动能谱由

两条 $\Delta I=1$ 的转动带组成. 此时带内的 E2 和 M1 跃迁占主导地位, 带间的跃迁几率非常小. 在最佳简并点附近, 平面转动变为非平面转动, 两条 $\Delta I=1$ 的转动带能级简并. 这时带内跃迁和两个方向的带间跃迁都有可能被观察到, 但跃迁几率的变化很不规则, 即两个带的内禀结构混合很大, 并且成分相当复杂. 带交叉过后, 转动很快地沿主轴顺排, 随着自旋和转动能的提高, 手征双重带逐渐退简并. 这时带间 $B(E2)$ 消失, 两条 $\Delta I=2$ 转动带的带内 E2 跃迁趋于常规. 对于 M1 跃迁则有明显的奇偶效应.

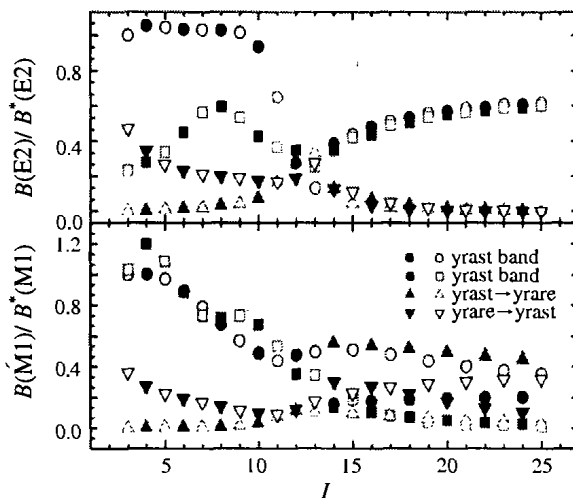


图 2 基于组态 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 和 $\gamma = -30^\circ$ 的相对跃迁几率 $B(M1)B(E2)$
 $B^*(M1)$ 和 $B^*(E2)$ 分别为 $I=3 \hbar$ 的晕带带内跃迁几率. 实心点对应偶自旋, 空心点对应奇自旋.

4 结论

本文利用三轴 PRM 对 $A \approx 100$ 和 130 核区原子核的手征双重带进行了研究. 首先通过基于粒子空穴组态 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 的计算和实验能谱的比较, 验证了手征双重带的确实存在于 $A \approx 130$ 核区原子核中. 而通过分析粒子空穴组态 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 的约化跃迁几率, 即出现能级简并时能观察到晕带和第一激发带之间的带间 $B(E2)$ 和 $B(M1)$ 跃迁, 这说明两条能级会出现简并现象, 也即是手征双重带可能存在于 $A \approx 100$ 核区.

参 考 文 献:

- [1] Frauendorf S, Meng J. Nucl Phys, 1997, **A617**: 131.
 [2] Peng J, Meng J, Zhang S Q. Phys Rev, 2003, **C68**: 044324.
 [3] 张双全, 彭 婧, 孟 杰. 高能物理与核物理, 2004, **28**(2): 161.
 [4] Bohr A, Mottelson B R. Nuclear Structure. New York: Benjamin, 1975, **2**.
 [5] Frauendorf S, Meng J. Z Phys, 1996, **A365**: 263.
 [6] Starosta K, Koike K, Chiara C J, *et al.* Phys Rev Lett, 2001, **86**: 9.

Description of Chiral Doublets in $A \approx 100$ and 130 Nuclei*PENG Jing^{1,2}, MENG Jie^{1,2,3}, ZHANG Shang-quan^{1,2}(1 *Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China;*2 *School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China;*3 *Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract: The Chiral doublets for nuclei in $A \approx 100$ and 130 regions have been studied with the particle-rotor model. The experimental spectra of chiral partner bands for four $N=75$ isotones in $A \approx$ region have been well reproduced by the calculation with the configuration $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}^{-1}$. The possible chiral doublets in $A \approx 100$ region have been predicted by the particle-rotor model (PRM) with the configuration $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-1}$ based on the analysis of the $B(M1)$ and $B(E2)$ transition probabilities.

Key words: chiral doublets band; particle-rotor model; configuration; transition probability

(上接第 350 页)

Theoretical Study of Superdeformed Triaxial States in $^{164}\text{Lu}^{**}$ YU Shao-ying^{1,2,3}, WANG Xiao-ming^{1,2}(1 *College of Science, Huzhou Normal College, Huzhou 313000, Zhejiang, China;*2 *College of Physics and Electromechanics, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028043, Inner Mongolia, China;*3 *Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract: Total routhian surface in ^{164}Lu nuclei is calculated according to the three dimensional Total Routhian Surface (TRS) theory. The result of the calculation is in agreement with the experiment. At the same time, two TSD bands could be assigned to the configuration $(\pi[660]1/2, \alpha=1/2) \otimes (\nu[642]5/2, \alpha=1/2)$, $(\pi[660]1/2, \alpha=1/2) \otimes (\nu[521]3/2, \alpha=-1/2)$.

Key words: total routhian surface theory; triaxial superdeformation; routhian surface

* **Foundation item:** Major State Basic Research Development Program(G2000077407); National Natural Science Foundation of China (10025522, 10221003, 10047001)

** **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10147205)