

文章编号: 1007-4627(2012)03-0235-03

# 投影壳模型研究丰中子奇奇核<sup>102, 104</sup>Nb 的转动能谱

董永胜<sup>1</sup>, 于少英<sup>2, 3</sup>, 沈彩万<sup>2, 4</sup>, 胡文骏<sup>1</sup>, 冯有良<sup>1</sup>, 王金宝<sup>1</sup>

(1. 集宁师范学院物理系, 内蒙古 集宁 012000;

2. 湖州师范学院理学院, 浙江 湖州 313000;

3. 中国科学院理论物理研究所, 北京 100080;

4. 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)

**摘要:** 运用投影壳模型研究了正常形变丰中子核同位素<sup>102, 104</sup>Nb 的低能级能谱, 并指定了它的准粒子组态, 理论计算所得到的能谱曲线与实验给出的能谱曲线非常一致, 说明了投影壳模型对研究重核低能级谱非常有效。

**关键词:** 投影壳模型; 转动谱; 准粒子组态

**中图分类号:** O571      **文献标志码:** A

## 1 引言

当前,  $A=100$  核区的丰中子核无论在理论上还是在实验上都是一个令人感兴趣的研究课题。其大的四极形变<sup>[1-2]</sup>、超形变基态、全同带<sup>[2-3]</sup>、三轴形变<sup>[4-5]</sup>以及形状变化<sup>[2, 6]</sup>等都是令人着迷的。迄今为止, 已较详细地研究了这个区的偶偶核以及奇  $A$  核, 但奇奇核的数据还很少。最近清华大学一个研究小组对奇奇核<sup>102, 104</sup>Nb 进行了实验研究, 给出了奇奇核<sup>102, 104</sup>Nb 的能谱<sup>[7]</sup>。本研究组用投影壳模型(PSM)对这个核进行分析研究。

## 2 理论模型

PSM<sup>[8-10]</sup>的基本物理思想是考虑到核子间的强对关联作用, 选取 Nilsson + BCS 多准粒子态作为基矢, 把变形基的角动量和粒子数进行投影。该模型应用于变形重核时, 可以看成是  $SU(3)$ 壳模型对变形重核体系的自然推广, 它能很好地解释一些观察到的实验事实。以下简单介绍 PSM。

拟设波函数:

$$\Psi_M = \sum_K f_K P_{MK}^I |\phi\rangle。$$

投影算符:

$$\hat{P}_{MK}^I = \frac{2I+1}{8\pi^2} \int d\Omega D_{MK}^I(\Omega) \hat{R}(\Omega)。$$

哈密顿量:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 - \sum_{\lambda} \frac{\chi_{\lambda}}{2} \sum_{\mu}^{+} \hat{Q}_{\lambda\mu} - G_M \hat{P}^{+} \hat{P} - G_Q \sum_{\mu} \hat{P}_{\mu}^{+} \hat{P}_{\mu}，$$

其中:  $G_M$  由奇偶质量差决定,  $G_M = \left[ G_1 \mp G_2 \times \frac{N-Z}{A} \right] A^{-1}$ ; “-”代表中子, “+”代表质子;  $G_Q$  与  $G_M$  成正比;  $G_Q \approx 0.2 G_M$ 。多粒子态角动量投影:

$$\chi_{\tau\tau'} = \frac{\delta \hbar \omega_{\tau} \hbar \omega_{\tau'}}{\hbar \omega_n \langle \hat{Q} \rangle_n + \hbar \omega_p \langle \hat{Q} \rangle_p}。$$

相互作用力  $\chi$  与形变  $\delta$  有关:(1)偶偶核

$$\{ \hat{P}_{MK}^I |0\rangle, \hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\nu}^{+} |0\rangle,$$

$$\hat{P}_{MK}^I \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle, \hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle, \dots \}。$$

(2)奇奇核

$$\{ \hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle, \hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle,$$

$$\hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\nu}^{+} |0\rangle,$$

$$\hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle, \dots \}。$$

(3)奇中子核

$$\{ \hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} |0\rangle, \hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle,$$

$$\hat{P}_{MK}^I \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\nu}^{+} \alpha_{\pi}^{+} \alpha_{\pi}^{+} |0\rangle, \dots \}。$$

(4)奇质子核

$$\{\hat{P}_{MK}^I \alpha_\pi^+ | 0 \rangle, \hat{P}_{MK}^I \alpha_\nu^+ \alpha_\pi^+ | 0 \rangle, \hat{P}_{MK}^I \alpha_\nu^+ \alpha_\pi^+ \alpha_\pi^+ | 0 \rangle, \dots\}.$$

求解广义本征方程

$$\sum_{K'} (H_{KK'}^I - EN_{KK'}^I) f_{K'} = 0,$$

矩阵元

$$H_{KK'}^I = \langle \phi | HP_{KK'}^I | \phi_{K'} \rangle, \\ N_{KK'}^I = \langle \phi | P_{KK'}^I | \phi_{K'} \rangle,$$

哈密顿量在投影基  $\{P_{MK}^I | \phi_{K'}\}$  下被对角化。能量

$$E_K(I) = \frac{H_{KK}^I}{N_{KK}^I} = \frac{\langle \phi | HP_{KK}^I | \phi_{K'} \rangle}{\langle \phi | P_{KK}^I | \phi_{K'} \rangle}.$$

### 3 用 PSM 计算奇奇核 $^{102, 104} \text{Nb}$ 的转动能谱

$^{102} \text{Nb}$  和  $^{104} \text{Nb}$  核的部分能谱取自文献[7]。在 PSM 计算中,  $G_1 = 20.25, G_2 = 16.20, \gamma = 0.18$ 。根据文献[11], 对于  $^{102} \text{Nb}$  核,  $\epsilon_2 = 0.342, \epsilon_4 = 0.013$ ; 对于  $^{104} \text{Nb}$  核,  $\epsilon_2 = 0.350, \epsilon_4 = 0.033$ 。计算结果如图 1 所示。经分析可知, 对于  $^{102} \text{Nb}$  核与  $^{104} \text{Nb}$  核,  $k=3$  的低能级带主要是由位于 Fermi 面附近的  $1h_{11/2}$  准中子  $5/2 [532]$  和  $1g_{7/2}$  准质子  $1/2 [431]$  起作用的, 即  $\nu 5/2 [532] \otimes \pi 1/2 [431]$  起作用的。

图 2 给出了计算的  $^{102} \text{Nb}$  和  $^{104} \text{Nb}$  核的基态转

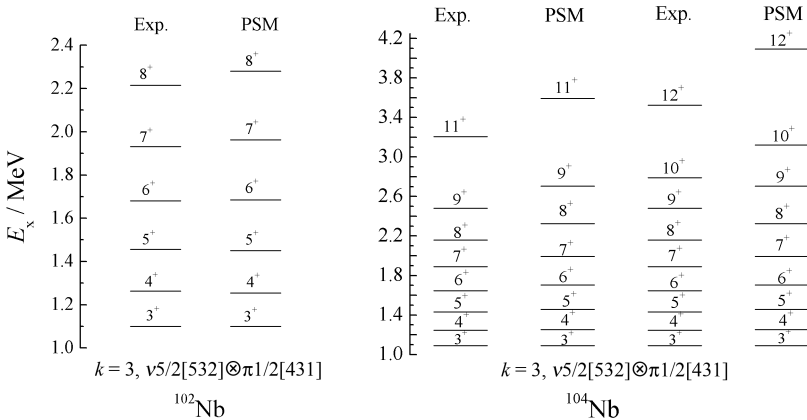


图 1 用 PSM 计算  $^{102} \text{Nb}$  和  $^{104} \text{Nb}$  核的部分能谱

动带、晕带和二准粒子的转动带。图中 g-band 表示  $^{102} \text{Nb}$  和  $^{104} \text{Nb}$  核的基态转动带, yrast band 表示

晕带,  $\nu 5/2 [532] \otimes \pi 1/2 [431]$  band 表示二准粒子转动带。

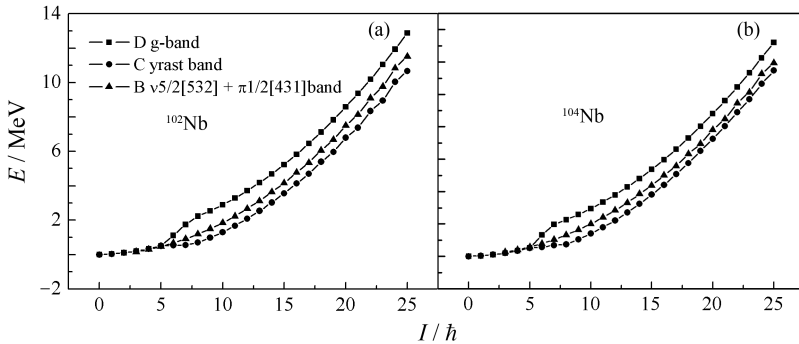


图 2 用 PSM 计算  $^{102} \text{Nb}$  和  $^{104} \text{Nb}$  核的基带和准粒子转动的带交叉

### 4 分析和结论

通过对丰中子奇奇核  $^{102, 104} \text{Nb}$  能谱的计算分析, 发现理论很好地再现了实验, 而且, 通过对基带与准粒子转动带之间的带交叉现象, 如图 2 所

示, 对晕带生成各准粒子带所作贡献的比较, 得到了一些十分有意义的结果。首先, 对于  $^{102, 104} \text{Nb}$  的低激发能谱, 在低自旋部分, 核的形变主要取决于基带的性质, 即依赖于  $\nu 1g_{7/2} \otimes \pi 1g_{9/2}$  准粒子内禀

态。换句话说,  $\nu 1g_{7/2} \otimes \pi 1g_{9/2}$  准粒子内禀态中包含了丰富的影响核形变的信息。第二, 随着自旋的增大, 当自旋  $I > 5 \hbar$  时, 靠近费米面附近的高  $j$  闯入轨道上的奇中子和奇质子会形成准粒子。于是基带和准粒子转动带之间会发生带交叉现象, 相应地运动学转动惯量也会随着自旋发生一定程度的改变。同时, 我们发现这些低激发形变带主要是由位于  $N = 5$  和  $N = 4$  谐振子壳层上的高  $j$  闯入态  $1h_{11/2}$  和  $1g_{7/2}$  引起的; 特别是对准粒子激发带组态的讨论得到,  $\nu 5/2 [532] \otimes \pi 1/2 [431]$  轨道上的准粒子是<sup>102, 104</sup>Nb 发生形变的主要原因。

### 参考文献 (References):

[1] CHEIFETZ E, THOMPSON R C, WILHELMY J B. Phys

Rev Lett, 1970, **25**: 38.

- [2] HAMILTON J H. Prog part Nucl Phys, 1985, **15**: 107.  
 [3] HAMILTON J H. Prog Part Nucl Phys, 1995, **35**: 635.  
 [4] SHIZUMA K, LAWIN H, SISTEMICH K, *et al.* Z Phys A, 1983, **311**: 71.  
 [5] LUO Y X, RASMUSSEN J O, STEFANESCU I, *et al.* J Phys G, 2005, **31**: 1303.  
 [6] FOTIADES N, CIZEWSKI J A, MCNABB D P, *et al.* Phys Rev C, 1998, **58**: 1997.  
 [7] WANG J G, ZHU S J, HAMILTON J H, *et al.* Phys Rev C, 2008, **78**: 014313.  
 [8] HARA K, SUN Y, I J. Mod Phys E, 1995, **4**: 637.  
 [9] BENGTTSSON T, RAGNARSSON I. Nucl phys A, 1985, **436**: 14.  
 [10] SUN Y, HARA K. Computer Physics Communications, 1997, **104**: 245.  
 [11] ZHANG J Y, XU N, FOSSAN D B, *et al.* Phys Rev C, 1989, **39**: 714.

## Study on Rotational Bands in Odd-odd Nuclei <sup>102, 104</sup>Nb by Using PSM

DONG Yong-sheng<sup>1, 1)</sup>, YU Shao-ying<sup>2, 3</sup>, SHEN Cai-wan<sup>2, 4</sup>, HU Wen-tao<sup>2</sup>, FENG You-liang<sup>1</sup>, WANG Jin-bao<sup>1</sup>

(1. Department of Physics, Jining Teachers College, Jining 012000, Inner Mongolia, China;

2. School of Science, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, Zhejiang, China;

3. Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

4. Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Research Facility in Lanzhou, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The Projected Shell Model (PSM) is used to study the low energy scheme of the neutron-rich normal-deformed isotopes of odd-odd nuclei <sup>102, 104</sup>Nb. The quasiparticle configuration is assigned. The theoretical calculations of the energy band of <sup>102, 104</sup>Nb could well reproduce the experimental data. It is shown that PSM is a valid method for studying the low energy scheme of heavy nuclei.

**Key words:** projected shell model; quasiparticle configuration; rotational band

Received date: 18 Aug. 2011; Revised date: 27 Nov. 2011

Foundation item: Inner Mongolia Foundation for Higher Learning (NJZZ11284); National Natural Science Foundation of China (10975051)

1) E-mail: dysh1973@163.com