

文章编号: 1007-4627(2011)01-0041-03

$A \approx 110$ 质量区奇 A 核形状演化研究*

周厚兵^{1,2}, 周小红^{1, #}, 张玉虎¹, 郑勇¹, 李广顺^{1,2}, M. Oshima³,

Y. Toh³, M. Koizumi³, A. Osa³, Y. Hatsukawa³

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan)

摘要: 应用 E -GOS(E -Gamma Over Spin) 曲线方法研究了 $A \approx 110$ 质量区奇 A 核结构随角动量增加的演化, 发现随着角动量的增加原子核的激发特性从振动逐渐演化为转动。

关键词: E -GOS 曲线; 相变; 形状演化

中图分类号: O571.5 **文献标识码:** A

1 引言

原子核的形状演化与角动量产生的机制密切相关, 研究原子核形状随同位旋和角动量变化的演化是核结构研究的主题。目前, 实验上观测到了大量具有振动特性和转动特性的原子核激发态能级。这些集体运动模式的存在证实了原子核的角动量是通过不同的方式产生的。不同特性的集体激发态的能级能量以及能级之间的跃迁几率存在显著差异。在 $A \approx 110$ 质量区, 由于质子数 Z 靠近幻数 50 这个闭壳, 所以这些原子核的低能激发态具有振动激发能谱的特征。实验上发现^[1-3] 在 Pd 同位素中, 随着原子核角动量的增加, $g_{9/2}$ 子壳层的质子和占据 $h_{11/2}$ 入侵轨道的中子将发生转动顺排, 使得沿转动轴的顺排角动量显著增加, 从而导致原子核出现多种集体运动模式。由此可见, 这些原子核随着角动量的变化, 它们的形变也在发生变化。

2 E -GOS 方法计算及结果讨论

Regan^[4] 等人运用一种简单的方法来识别随着角动量的增加原子核结构的形状演化, 该方法称为 E -GOS 曲线方法。在这个方法中, 定义 $R = E_\gamma(I \rightarrow I-2)/I$, 对于理想的谐振子, $E_\gamma(I \rightarrow I-2) = \hbar\omega$; 对于轴对称的转子, $E_\gamma(I \rightarrow I-2) = [\hbar^2/2J] \times (4I-2)$, 其中 J 为转动惯量。于是, 随着角动量增加,

在振动激发模式下, R 值逐渐趋向零; 在转动激发模式下, R 值将最终趋向一个常数 $4[\hbar^2/2J]$ ^[4]。运用这一方法, 发现在 $A \approx 110$ 质量区的偶-偶核晕带存在显著的形状演化^[4], 即在角动量较低时能级结构具有明显的振动特征, 随角动量的增加, 高自旋大于 $10 \hbar$ 时能级具有转动谱的特征。

对于 $A \approx 110$, $Z < 50$ 的奇 A 核, 通过比较已有的核谱学数据可以发现: 偶 Z 奇 A 核基态带与邻近偶偶核的基态带能级间隔非常相似, 可以认为奇 A 核晕带的能级结构是由一个中子弱耦合核芯激发态形成的。因此, 类似于偶-偶核晕带中出现的形状演化也可能在奇 A 核中存在。

在奇 A 核中, E -GOS 方法中的自旋 I 用归一化后的自旋减去带头在对称轴上的投影 K 来代替, 即 $I \rightarrow I-K$ 。于是, 对于轴对称的转子情况下, E -GOS 方法改用下式来描述^[5]:

$$R(I) = \frac{E_\gamma}{I} \rightarrow \frac{\hbar^2}{2J} \frac{(4I-2)}{I} \rightarrow \frac{\hbar^2}{2I} \frac{[4(I-K)]-2}{(I-K)}, \quad (1)$$

$$R(I-K) = \frac{E_\gamma - (4K \frac{\hbar^2}{2J})}{I-K} = \frac{E_\gamma - KR_{K+2}}{I-K}, \quad (2)$$

* 收稿日期: 2010-05-18; 修改日期: 2010-05-24

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10825522, 10805058); 国家重点基础研究发展规划(2007CB815001); 中国科学院资助项目
作者简介: 周厚兵(1984—), 男(汉族), 广西桂林人, 博士研究生, 从事原子核结构研究工作; E-mail: zhouhb@impcas.ac.cn

通讯联系人: 周小红, zzh@impcas.ac.cn

其中 J 为转动惯量, 可通过拟合邻近偶偶核的转动能级得出。

图 1(a) 显示了奇 A 核基态带的 E -GOS 曲线。从该图可知, $^{95}, ^{97}, ^{99}\text{Mo}$ 的基态带在低自旋时具有振动特征。但是, 仅根据已有的实验数据, 无法判定这些核的基态带是否随角动量的增加形状发生变化。 $^{103}, ^{105}, ^{107}\text{Mo}$ 具有明显的转动特征, 这些转动带能级的宇称为负。随着中子数增加, 费米面位于 $h_{11/2}$ 壳层, 导致原子核具有较大的四极形变, 所以这些原子核的激发态能级主要通过转动激发形成。在 Ru 同位素中, 文献[6]指出 ^{101}Ru 正宇称带随着角动量增加具有从振动结构到转动结构演化的特

征。基于图 1(a), 可以预言 $^{97}, ^{99}\text{Ru}$ 可能具有同样的形状演化效应, 尽管目前缺乏这些核的基态带的更高自旋态的实验数据。对于 Pd 同位素, ^{101}Pd 和 ^{107}Pd 的 E -GOS 曲线在低自旋时具有类似双曲线的形状, 高自旋大于 $10\hbar$ 时逐渐趋向于一个常数。因此, 它们具有从振动特征到转动特征演变的过程。 $^{99}, ^{103}\text{Pd}$ 的基态带目前在高自旋区的实验数据较为缺乏, 但从它们的 E -GOS 曲线的变化趋势看, 这些原子核随着角动量的增加沿着晕线同样可能出现形状演化。在已有的核谱学数据中, Cd 同位素基态带均未布居到很高的自旋态, 可能是由于这些能级远离晕线, 在实验上难以布居, 在此不作详细讨论。

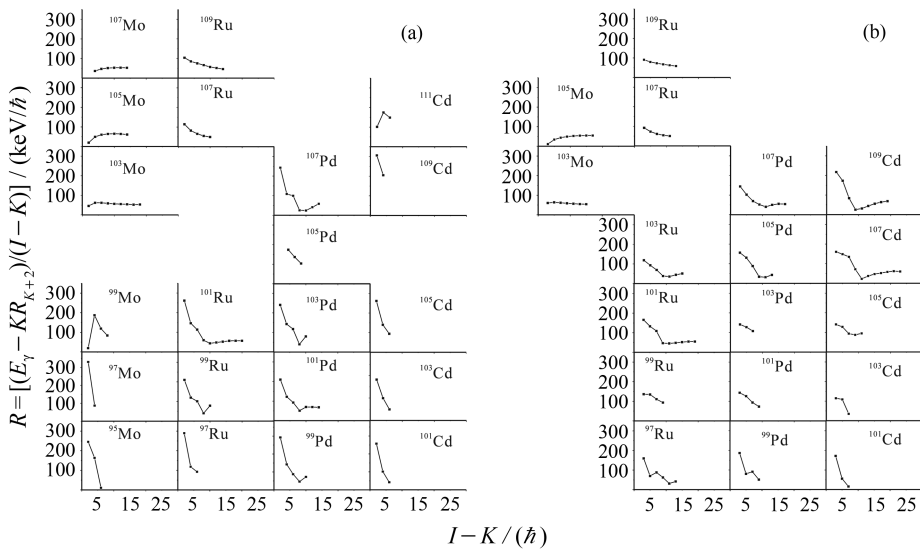


图 1 中子数 $N = 53-65$ 的原子核的 E -GOS 曲线

(a) 中子数 $N = 53-65$ 的原子核的 E -GOS 曲线, (b) $A \approx 110$ 质量区奇 A 核 $g_{7/2}$ 带 E -GOS 曲线(文献[5-6, 10-28])。

图 1(b) 给出了基于 $g_{7/2}$ 组态的能级的 E -GOS 曲线。由此可知, 对于该质量区的某些奇 A 核, 具有一个显著的从振动结构向转动结构演化的特征。其中 $N=59$ 同中子素以及中子数为 61 的 Pd 和 Cd 原子核在角动量为 $10-12\hbar$ 时均出现了一个明显的由振动结构到转动结构变化的过程。

在奇 A 核中, 随着角动量增加, 由于科里奥利力的作用, 原本在原子核中处于配对的核子将会发生拆对[7]。原子核转动时, 占据高 j (原子核的角动量) 低 Ω (角动量在对称轴方向上的投影) 轨道的核子受到的科里奥利力较大, 所以位于这些轨道上的配对核子最先发生拆对。这样就使得它们在转动轴方向上具有较大的角动量分量。于是, 这些发生顺

排的准粒子将会对核的势场产生“极化”作用, 使得原子核具有一个较小而稳定的四极形变, 从而原子核的集体运动模式就演化成了集体转动模式。此外, 这种由于“极化”效应而产生的原子核具有较小而稳定的四极形变也曾经在文献[8]中被用于解释该质量区出现的反磁转动现象, 如实验上已观测到的 ^{100}Pd 原子核中建立在 10^+ 态以上的能级序列[9]。

3 结论

综上所述, 我们运用 E -GOS 曲线方法首次系统地研究了 $A \approx 110$ 质量区偶 Z 奇 A 核基态带以及 $g_{7/2}$ 带随着角动量增加的形状演化。结果表明, 与它们邻近的偶偶核一样, 该质量区的奇 A 核具有

同样的形状演化现象, 即随着角动量的增加, 原子核的激发特性从振动逐渐演化为转动。

参考文献 (References):

- [1] Regan P H, Dracoulis G D, Lane G J, *et al.* J Phys, 1993, **G19**: 157.
- [2] Perez G E, Sohler D, Algora A, *et al.* Nucl Phys, 2001, **A686**: 41.
- [3] Jerrestam D, Klamra W, Fogelberg B, *et al.* Nucl Phys, 1996, **A603**: 203.
- [4] Regan P H, Beausang C W, Zamfir N V, *et al.* Phys Rev Lett, 2003, **90**: 152502.
- [5] Regan P H, Wheldon C, Yamamoto A D, *et al.* A P P, 2005, **B36**: 1313.
- [6] Yamamoto A D, Regan P H, Beausang C W, *et al.* Phys Rev, 2002, **C66**: 024302.
- [7] Bengtsson R, Frauendorf S. Nucl Phys, 1979, **A327**: 139.
- [8] Frauendorf S. Rev Mod Phys, 2001, **73**: 463.
- [9] Zhu S, Garg U, Afanasjev A V, *et al.* Phys Rev, 2001, **C64**: 041302(R).
- [10] Chatterjee J M, Saha-Sarkar M, Bhattacharya S, *et al.* Phys Rev, 2004, **C69**: 044303.
- [11] Dubuc J, Kajrys G, Larivière P, *et al.* Phys Rev, 1988, **C37**: 954.
- [12] Ding H B, Zhu S J, Hamilton J H, *et al.* Phys Rev, 2006, **C74**: 054301.
- [13] Hua H, Wu C Y, Cline D, *et al.* Phys Rev, 2004, **C69**: 014317.
- [14] Kharraja B, Ghugre S S, Garg U, *et al.* Phys Rev, 1998, **C57**: 83.
- [15] Timár J, Gizon J, Gizon A, *et al.* Phys Rev, 2000, **C62**: 044317.
- [16] Zhu S J, Hamilton J H, Ramayya A V, *et al.* Phys Rev, 2002, **C65**: 014307.
- [17] Wu C Y, Hua H, Cline D, *et al.* Phys Rev, 2006, **C73**: 034312.
- [18] Siotra S, Goswmy J, Malik S S, *et al.* To be published.
- [19] Zhou H B, Zhou X H, Zhang Y H, *et al.* Chinese Physics, 2010, **C34**: 1598.
- [20] Nyakó B M, Gizon J, Gizon A, *et al.* Phys Rev, 1999, **C60**: 024307.
- [21] Rickey F A, Grau J A, Samuelson L E, *et al.* Rev, 1977, **C15**: 1530.
- [22] Pohl K R, Regan P H, Bush J E, *et al.* Phys Rev, 1996, **C53**: 2682.
- [23] Palacz M, Cederkall J, Lipoglavsek M, *et al.* Nucl Phys, 1996, **A608**: 227.
- [24] Chakraborty A, Krishichayan, Mukhopadhyay S, *et al.* Phys Rev, 2007, **C76**: 044327.
- [25] Jerrestam D, Fogelberg B, Kerek A, *et al.* Nucl Phys, 1995, **A593**: 162.
- [26] Chiara C J, Asztalos S J, Busse B, *et al.* Phys Rev, 2000, **C61**: 034318.
- [27] Ohya S, Shida Y, Hashimoto O, *et al.* Nucl Phys, 1979, **A325**: 408.
- [28] Jerrestam D, Liden F, Gizon J, *et al.* Nucl Phys, 1992, **A545**: 835.

Structure Evolution in Odd Nuclei around $A \approx 110$ *

ZHOU Hou-bing^{1, 2}, ZHOU Xiao-hong^{1, #}, ZHANG Yu-hu¹, ZHENG Yong¹, LI Guang-shun^{1, 2}

M. Oshima³, Y. Toh³, M. Koizumi³, A. Osa³, Y. Hatsukawa³

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3 *Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan*)

Abstract: The E -GOS(E -Gamma Over Spin) curves were used to investigate the structure evolution in the odd- A nuclei around $A \approx 110$ as a function of spin. The result shows that there is a clear transition from vibration to rotation while increasing spin.

Key words: E -GOS curve; phase transition; structure evolution

* **Received date:** 18 May 2010; **Revised date:** 24 May 2010

* **Foundation item:** National Nature Sciences Foundation of China(10825522, 10805058); Major State Basic Research Development Program of China(2007CB815001); Project of Chinese Academy of Sciences

Corresponding author: Zhou Xiao-hong, E-mail: zxh@impcas.ac.cn