

$A \sim 130$ 区域核晕带的形状变化和共存*

张进富¹⁾

(赤峰学院物理系 赤峰 024001)

摘要 利用最近提出的E-GOS理论分析方法,对 $A \sim 130$ 质量区域的核进行了分析研究,发现该区域的核基本上处于 $U(5) \rightarrow SU(3)$ 过渡区域, $^{124-130}\text{Ba}$ 核更接近于 $O(6)$ 核.

关键词 核结构 晕带 E-GOS曲线

1 引言

对于有限多体量子系统,例如原子核,通过严格求解薛定谔方程而得到解析解非常困难,往往采取数值解法,发展了多种理论近似方法.最近利用动力学对称性的概念,研究原子核系统的形状相变,引起人们极大的兴趣,特别对 $A \sim 130$ 稀土过渡区原子核,它们基本上是从闭壳结构过渡到强变形,显示了振动和转动共存的丰富的核结构变化.目前人们对这些核在实验和理论上进行了大量的研究.理论上采用不同的模型,例如代数模型^[1],刚性三轴转子模型(RTRM)^[2,3],普适集体模型^[4],核子对壳模型^[5,6],三轴转子振子模型^[7]等研究了这一质量区域核的低能态.代数模型研究的结果显示了这一区域的核有些具有 $O(6)$ 动力学对称性^[1],类似于几何模型的 γ 不稳定转子,有些核则具有过渡核的特性.特别强调的是,这一区域的偶偶核具有很强的三轴形变性^[3,7],这主要来源于(1)质子粒子和中子空穴自由度间的竞争,或者说形状共存和变化的结果;(2)单粒子和集体自由度间竞争的结果.本文主要利用最近提出的E-GOS理论分析方法^[8],分析了 $A \sim 130$ 质量区域晕带的特性,结果显示这些核具有振动和转动共存的特性,而且存在一个临界点,在此处原子核的结构特性发生了显著的变化.

2 理论方法

最近,在研究原子核形状相变中,一些作者^[8]提出了一种E-GOS(E-Gamma overspin)的理论分析方法.

我们知道,对于理想的振动核,它的能谱公式为

$$E_I = n\hbar\omega, \quad (1)$$

特别对于晕态能级 $n = \frac{1}{2}$.

对于轴对称转动核,它的能谱为

$$E_I = \frac{\hbar^2}{2J}I(I+1), \quad (2)$$

其中 J 是静力学转动惯量.

通过简单分析,对于振动核的晕态能级, γ 衰变能 $E_\gamma(I \rightarrow I-2) = \hbar\omega$, 是一常数.而转动核晕态的衰变能 $E_\gamma(I \rightarrow I-2) = \frac{\hbar^2}{2J}(4I-2)$ 随着自旋的增加而增加.为了进一步研究原子核的形状共存和变化,文献^[8]引入下述比值

$$R = \frac{E_\gamma(I \rightarrow I-2)}{I}$$

进行分析.具体对于振动核

$$R = \frac{\hbar\omega}{I} \xrightarrow{I \rightarrow \infty} 0,$$

即比值 R 随着 I 的增加而逐渐减小,最后趋于零.类似的,对于转动核

$$R = \frac{\hbar^2}{2J} \left(4 - \frac{2}{I}\right) \xrightarrow{I \rightarrow \infty} 4\left(\frac{\hbar^2}{2J}\right),$$

比值 R 随着 I 的增加,变化很小,最后趋于一常数.为了直观地显示这种变化趋势,我们分别取第一激发态的能量为500keV和100keV,作谐振子和轴对称转子的E-GOS曲线,图1曲线显示了这种变化趋势.

* 国家自然科学基金(10047001, 10265001)和内蒙古教育厅重大项目基金(ZD01038)资助

1) E-mail: zhjinfu@sohu.com

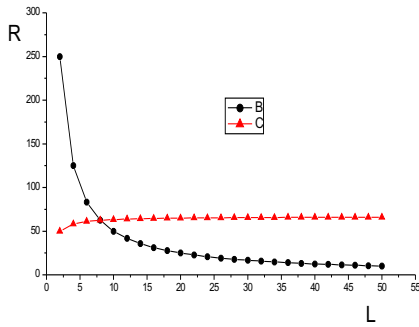


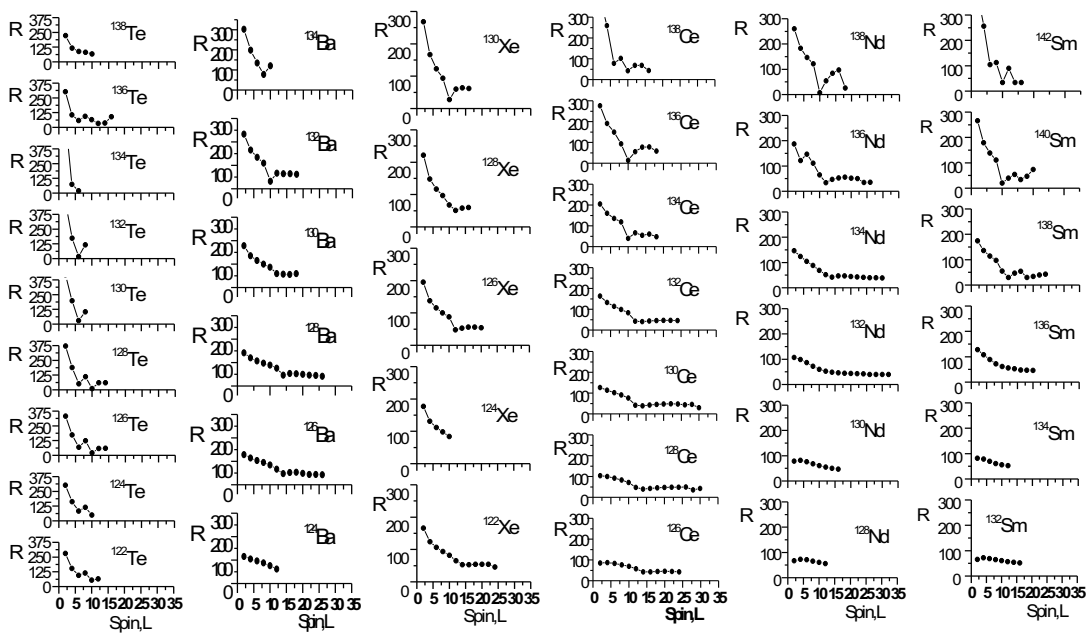
图1 谐振子B和轴对称转子C的E-GOS曲线

3 计算结果和讨论

正如引言中提到的, $A \sim 130$ 质量区域的核具有非常丰富的核结构变化. 一方面, 早期的计算表明Xe, Ba同位素核是 $SU(5) \rightarrow O(6)$ 过渡核^[1], Te, Ce—Sm处于 $SU(3) \rightarrow U(5)$ 过渡区域^[9–11]. 但是在1997年, Cottle^[12]等人发现, Ba核从八极跃迁的性质看, 更接近于 $SU(3) \rightarrow U(5)$ 的过渡核, 随后也发现Xe^[13]同位素核具有 $SU(3) \rightarrow U(5)$ 过渡核的特性. 最近的研究表明, 该质量区域的一些核具有新的动力学对称极限的特性, 例如, ^{130}Xe ^[14], ^{134}Ba ^[15]是 $E(5)$ ^[16]核等. 另一方面, 从这些核晕带的 $E_4/E_2 = 1.7\text{—}3.1$ 可看出, 该区域的核基本上是属于球形过渡到变形核, 在低能态, 显示了四极振动的结构特征, 但在晕带的高自旋态显示了较小的变形, 形成了类似于转动带的结

构. 利用 $\beta_2 = 4\pi\sqrt{B(E2: 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)}/(3eZR_0^2)$ 可估算这些核的四极变形参数 $\beta_2 = 0.118\text{—}0.29$, 正是由于这种小的变形引起了比较大的Coriolis效应^[17], 正像几何模型描述的那样, 导致了质子的转动顺排.

图2中的E-GOS曲线显示了这些核 ($Z = 52\text{—}62$, $N = 66\text{—}86$) 晕带能级结构的变化特征. 图中曲线定性的反应出从振动到转动的变化规律. 对于Te核, 由于实验数据的限制, 这种变化规律不够明显, 但是我们也观测到Te同位素核在两处发生了相变, 第一处发生在角动量 $L = 6\hbar$, 第二处则发生在角动量 $L = 10\hbar$ 和 $L = 12\hbar$ (^{136}Te). 对于Xe, Ba同位素核, 相变发生在角动量 $L = 10\text{—}14\hbar$ 处. 为了细致的分析它们的相变, 利用 γ 软性核的 $E_\gamma/I = [E(2^+)/4](1 + 2/I)$ 公式, E-GOS值随着角动量的增加而减小, 但减小的幅度要比振动核弱的多, 所以, $^{124}\text{—}^{130}\text{Ba}$ 核更接近于 $O(6)$ 核, Xe同位素核更接近于 $U(5) \rightarrow SU(3)$ 过渡核. 特别值得一提的是 ^{130}Xe 和 ^{134}Ba 两个核分别在角动量 $L = 10\hbar$ 和 $L = 8\hbar$ 处发生了显著的相变, 说明这两个核可能具有新的动力学对称性^[14,15], 另外, ^{132}Ba 也具有类似的特性. 对于Ce—Sm同位素核, 基本上处于 $U(5) \rightarrow SU(3)$ 过渡区域, 相变发生在角动量 $L = 12\text{—}14\hbar$ 区域. 我们也发现, 该区域的核随着中子数的增加, 振动向转动的相变更加明显, 当中子数处于半满壳区域 ($N = 66\text{—}70$) 时, 该区域的核具有明显的三轴形变.

图2 $A \sim 130$ 质量区域核的E-GOS曲线

4 结论

利用最近提出的E-GOS分析方法,系统的分析了质量数 $A \sim 130$ 区域原子核的形状相变,研究表明,该质量区域的原子核基本上处于振动到转动的过渡区,

$^{124-130}\text{Ba}$ 核更接近于 $O(6)$ 核. 在低能态,显示振动的特性,相反在高能态,则显示了转动的特性,当角动量 $L = 10-14\hbar$ 时,发生相变;研究也进一步证实了有限多体量子系统确实存在振动模式和转动模式之间的竞争.

参考文献(References)

- 1 Iachello F, Arima A. The Interacting Boson Model, Cambridge University Press, Cambridge, 1987
- 2 Davydov S A, Filippov G F. Nucl. Phys., 1958, **8**: 237
- 3 YAN J, Vogel O, von Brentano P et al. Phys. Rev., 1993, **C48**: 1046
- 4 Petkov P, Dewald A, Andrejtscheff W. Phys. Rev., 1995, **C51**: 2511
- 5 LOU Y A, CHEN J Q, Draayer J P. Nucl. Phys., 2000, **A669**: 101
- 6 ZHAO Y M, Yamaji S, Yoshinaga N et al. Phys. Rev., 2000, **C62**: 014315
- 7 Meyer U, Faessler A, Khadkikar B S. Nucl. Phys., 1997, **A624**: 391
- 8 Regan P H, Beausang C W, Zamfir N V et al. Phys. Rev. Lett., 2003, **90**: 152502
- 9 LI Z Z, LIU F Y, JI H Y et al. Commun. Theor. Phys., 2000, **33**: 405
- 10 ZHANG J F, Pak J Y, LIU F Y. HEP & NP., 2000, **24**(11): 1066(in Chinese)
(张进富, 朴在渊, 刘凤英. 高能物理与核物理. 2000, **24**(11): 1066)
- 11 LONG G L, ZHU S J, ZHANG J Y et al. Commun. Theor. Phys., 1998, **29**: 65
- 12 Zamfir N V, Cottle P D, Casten R F et al. Phys. Rev., 1997, **C55**: R1007
- 13 LI Z Z, LIU F Y, JI H Y et al. Commun. Theor. Phys., 2000, **33**: 598
- 14 ZHANG D L, LIU Y X, Chin. Phys. Lett., 2003, **20**(7): 1028
- 15 Casten R F, Zamfir N V. Phys. Rev. Lett., 2000, **85**: 3584
- 16 Iachello F. Phys. Rev. Lett., 2000, **85**: 3580
- 17 Stephens F S, Simon R S. Nucl. Phys., 1972, **A183**: 257

Shape Transition and Coexistence of Yrast-Bands in $A \sim 130$ Nuclei*

ZHANG Jin-Fu¹⁾

(Department of Physics, Chifeng College, Chifeng 024001, China)

Abstract The E-Gamma Over Spin (E-GOS) analysis method is applied to study the shape evolution of yrast-bands in $A \sim 130$ nuclei. It is found that these nuclei in $A \sim 130$ region are in the transition from $U(5)$ to $SU(3)$ dynamical symmetry. $^{124-130}\text{Ba}$ isotopes are to close $O(6)$ dynamical symmetry.

Key words nuclear structure, yrast-band, E-GOS curve

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10047001, 10265001) and Key Scientific Research Fund of Inner Mongolian Educational Bureau (ZD01038)

1) E-mail: zhjinfu@sohu.com