

文章编号: 1007- 4627(2000)04-0216-03

¹²⁷La 转动带及带终止*

董保国, 郭宏超, I. Ragnarsson

(中国原子能科学研究院核物理所, 北京 102413)

摘要: 用组态相关推转壳模型 Nilsson 势研究了 C. M. Parry 组最近用 EUROBALL 谱仪观测到的 ¹²⁷La 高自旋态结构. 实验上观测的 ¹²⁷La 的宇称和辛量子数为 $(\pi, \alpha) = (+, -1/2)$ 的带自旋达到 $(83/2)\hbar$. 理论计算结果表明该带可能具有组态 $\pi(h_{11/2})^2 \otimes \chi(h_{11/2})^6$. 并且几乎达到该带的带终止理论预言值 $I = 47.5\hbar$. 该带的形变在 $I \leq 40\hbar$ 内处于正常形变区 ($\epsilon \approx 0.22, \gamma \approx 0^\circ$), 随着角动量的增加 γ 值逐渐增加, 直到 $\gamma = 60^\circ$ 时带终止.

关键词: 带终止; 转动带; 组态相关推转壳模型

中图分类号: O413.3 文献标识码: A

1 引言

$A = 120-130$ 核区是高自旋转动带及带终止, 即转动带所能达到的最高角动量研究较多的核区. 该核区中核的共同特点是在 ¹⁰⁰Sn 为核心及闭壳外有约 10-20 个核子构成的, 因而有着非常丰富的转动带及带终止的核现象. 最近, C. M. Parry 小组用 EUROBALL 测量了在束能量为 155 MeV 的反应 ³²S(¹⁰⁰Mo, p4n) 的退激 γ 谱^[1], 其中正常形变宇称和辛量子数为 $(\pi, \alpha) = (+, -1/2)$ 的一条转动带的自旋达到 $(83/2)\hbar$, 是该核区首次测量到的如此高的自旋.

本文用无对作用的组态相关推转壳模型 Nilsson 势研究实验上测量的 ¹²⁷La 的这条高自旋转动带, 理论模型及有关的参数见文献[2].

2 理论计算结果

在组态相关推转壳模型中, 只有宇称和辛量子数是好量子数, 可以据此把转动带分为相互独立的 4 类, 即 $(\pi, \alpha) = (+, +1/2), (+, -1/2), (-, +1/2), (-, -1/2)$. 图 1 是理论计算的 ¹²⁷La 宇称和辛量子数的 4 种组合带, 并分别由各自具有不同组态的带的能量最低点构成. 由图 1 可以看出, 在角动量 $I = 20-30$ 范围内, 宇称和辛量子数为 (π, α)

$= (+, -1/2)$ 的带在能量上更具优势, 更容易为实验所测量到.

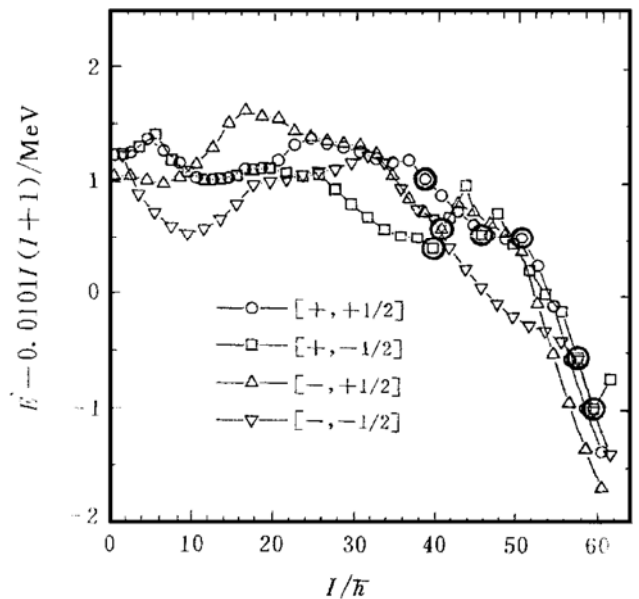


图 1 ¹²⁷La 宇称和辛量子数的 4 种可能组合 $(+, +1/2), (+, -1/2), (-, +1/2), (-, -1/2)$ 的各自具有不同组态带的能量最低点构成的相应 4 个带

在计算的 ¹²⁷La 宇称和辛量子数为 $(\pi, \alpha) = (+, -1/2)$ 带的位能面上, 在自旋 $I = 10-40\hbar$ 之间 γ 形变是非常软的. 如在能量最低的极小区内 γ 形变在宽度达到 30° 的范围内变动时, 其与最低点的能量差均小于 0.5 MeV. 在 $(+, -1/2)$ 带的位能面上

* 收稿日期: 2000-02-28

* 基金项目: 核工业科学基金资助项目(Y7197A0111, H7196A0101)

作者简介: 董保国(1956-), 男(汉族), 河南省扶沟县人, 副研究员, 硕士学位, 从事原子核高自旋态方面的研究.

有两个或三个能量极小区位于 $\epsilon \approx 0.18$ 及不同的 γ 值. 在 $I = 30 \hbar$ 附近, 位能面上 $\epsilon \approx 0.35$, $\gamma \approx 0^\circ$ 处出现另一个相应于超形变的能量极小区, 其 γ 形变也较软, 同时位能面上处在负 γ 值的能量极小区基本上消失, 而在 $\gamma \approx 0^\circ$ 小形变处的能量极小区逐渐向 $\gamma = 60^\circ$ 方向移动, 并在 $I = 40 \hbar$ 以上时产生带终止. 超形变带 ($\epsilon \approx 0.35$) 在 $I = 51.5 \hbar$ 及以后成为转晕带, 而其 γ 形变一直保持在近 0° .

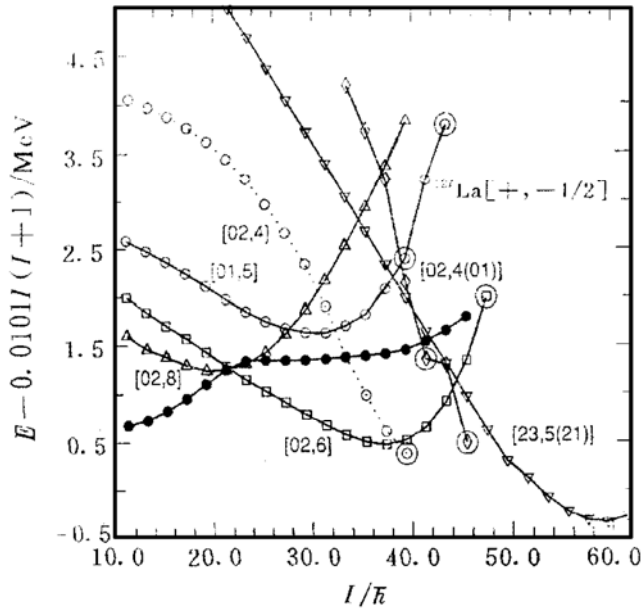


图2 ^{127}La 具有宇称和辛量子数 $(+, -1/2)$ 和不同组态的理论计算带 (空心符号) 与实验带 (实心符号) 的比较

在计算宇称和辛量子数为 $(\pi, \alpha) = (+, -1/2)$ 带时选择了能量较低的6个不同组态带. 图2中的组态标记是 $[p_1 p_2, n_1(n_2 n_3)] \equiv \pi(g_{9/2})^{-p_1}(h_{11/2})^{p_2} \otimes \nu(h_{11/2})^{n_1}(h_{9/2} f_{7/2})^{n_2}(i_{13/2})^{n_3}$. 如果没有中子在 $(h_{9/2} f_{7/2})(i_{13/2})$ 轨道上, 组态标记中的 $n_2 n_3$ 将被省略. 常数 0.010 1 是惯性参数 $\hbar^2/2J_{rig}$ 的值, 并由经验式 $0.007(158/A)^{5/3} \text{ MeV}$ 给出, 其中 A 是核子数. 图2中较大的圆圈表示该点 γ 形变是 60° , 即通常转动带会在该角动量处终止. 换句话说, 所有的单粒子角动量已经全部沿着转动轴顺排, 转动带这时获得最大角动量, 例如 $[02, 4]$ 带, 即 $\pi[(g_{9/2})_0^{10}(g_{7/2} d_{5/2})_{11.5}^5(h_{11/2})_{21.5}^2]_{21.5}, \nu[(g_{7/2} d_{5/2})_0^{14}(h_{11/2})_{16}^4(d_{3/2})_{18}^2]_{18}$, 在带终止点获得该带的最大角动量值 $21.5 + 18 = 39.5 \hbar$, 其中单粒子轨道标记的右上角为粒子数, 右下角为在该单粒子轨道中相应粒子数下对总角动量可能贡献的最大角动量值.

多数理论计算带随着角动量的增加能量基本上均匀增加, 表明相应的核形状是在逐渐发生变化.

转动带 $[02, 8], [02, 4(01)]$ 在 $I \approx 41.5 \hbar$ 处有突然改变. 因为对这些组态在位能面上存在两个能量极小区, 且具有几乎相同的 ϵ 但不同的 γ 值, 见表1. 正是这两个能量极小区之间的竞争使得转动带从一个极小区跳到另一个, 进而产生能量上的较大改变. 对宇称和辛量子数为 $(+, -1/2)$ 组态带, 计算的最低能量带由 $[02, 8], [02, 6], [23, 5(21)]$ 带及只有在带终止点才是转晕态的两个组态 $[02, 4]$ 和 $[02, 4(01)]$ 组成 (见表2). 宇称和辛量子数为 $(-, -1/2)$ 的带与 $(+, -1/2)$ 相类似, 为 $(+, +1/2), (-, +1/2)$ 的组态带在能量上要比 $(+, -1/2)$ 带高, 实验上不易测量.

表1 ^{127}La 理论计算带随着角动量增加而产生能量跳变处的核形状 (ϵ, γ)

角动量 (\hbar)	$[02, 8]$	$[02, 4(01)]$
39.5	(0.20, -1°)	
41.5	(0.21, -30°)	(0.21, 60°)
43.5		(0.19, 44°)
45.5		(0.20, 60°)

实验上测量的具有宇称和辛量子数 $(+, -1/2)$ 组态带可以分为两个主要部分, 自旋 I 分别处于 $11.5-19.5 \hbar$ 和 $21.5-45.5 \hbar$. 这条转动带的 I 为 $21.5-45.5 \hbar$ 部分的转动惯量 $J^{(1)} \approx 50 \hbar^2 \text{ MeV}^{-1}$, 非常平坦, 是一个很好的刚性转子. I 为 $11.5-19.5 \hbar$ 部分的转动惯量从 $I = 11.5 \hbar$ 的 $J^{(1)} \approx 50 \hbar^2 \text{ MeV}^{-1}$ 平滑的下降到 $I = 19.5 \hbar$ 时的 $J^{(1)} \approx 40 \hbar^2 \text{ MeV}^{-1}$. 在 I 为 $19.5-21.5 \hbar$ 之间有一个约 $10 \hbar^2 \text{ MeV}^{-1}$ 的转动惯量 $J^{(1)}$ 跳变.

表2 ^{127}La 在带终止点处具有宇称和辛量子数 $(+, -1/2)$ 组态的能量最低的理论计算带及相应的形变

组态	$I(\hbar)$	ϵ	$\gamma(^\circ)$
[02, 8]	11.5	0.27	-2
	21.5	0.6	1
[02, 6]	21.5	0.22	-1
	43.5	0.15	10
[23, (21)]	47.5	0.33	3
	61.5	0.30	10
[02, 4]	39.5	0.15	60
[02, 4(01)]	45.5	0.20	60

在自旋 I 在范围 $21.5 - 45.5 \hbar$ 内比较实验测量和理论计算转动带的能量、转动惯量、曲率等, 发现实验测量带与计算宇称和辛量子数为 $(+, - 1/2)$ 组态带 [02, 6] 最为接近. 实验测量带与计算带 [02, 6] 的差别是 [02, 6] 带的转动惯量没有实验带的刚性强, 或者计算带的曲率比实验带的要大一些.

3 结论

实验上测量的具有宇称和辛量子数 $(+, - 1/2)$ 组态自旋达到 $(83/2) \hbar$ 的带由在 $I = 20 \hbar$ 处交叉的两部分组成, 与组态带 [02, 6], $\pi(h_{11/2})^2 \otimes \nu(h_{11/2})^6$ 最为相近. 并且几乎达到该带的最大角动

量 $I = 47.5 \hbar$. 该带在角动量 $I \leq 40 \hbar$ 时处在正常形变区 $\epsilon \approx 0.22$ 和 $\gamma \approx 0^\circ$, 然后在 γ 平面上向 $\gamma = 60^\circ$ 方向移动直至在 $\gamma = 60^\circ$ 处带终止. 比较理论计算和实验结果, 可以看到实验上测量到的最大自旋值处正是理论计算带开始明显离开转晕态处. 这也从另一方面支持了我们的解释: 在 $\epsilon \approx 0.35$ 和 $\gamma \approx 0^\circ$ 处有超形变转动带存在并在 $I = 40 \hbar$ 以后变为转晕带. 这点使得该带与实验测量带明显不同. 这是对将来实验测量的一个挑战. 在 $I = 21.5 \hbar$ 以下实验测量带表现出有强的对相互作用, 它们的转动惯量从 $I = 11.5 \hbar$ 到 $I = 19.5 \hbar$ 下降了 $\sim 10 \hbar^2 \text{ MeV}^{-1}$.

参 考 文 献:

[1] Parry C M, Wadsworth R, Wilson A N *et al.* First Evidence for Smooth Band Termination in Valence Space in the Mass 130 Region: Spectroscopy of ^{127}La [J]. To be published in Phys Lett B

[2] Bengtsson T, Ragnarsson I. Rotational Bands and Particle-hole Excitations at Very High Spin [J]. Nucl Phys, 1985, A436: 14– 82.

Bands and Band Termination in $^{127}\text{La}^*$

DONG Bao-guo, GUO Hong-chao, I. Ragnarsson
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: The configuration-dependent shell-correction approach with cranked Nilsson potential is employed for explaining the experimental high-spin spectra in ^{127}La . The experimental high spin band with parity and signature $(+, - 1/2)$ consists of two parts with a crossing around $I = 20 \hbar$. It is most like to have the configuration [02, 6], $\pi(h_{11/2})^2 \otimes \nu(h_{11/2})^6$ and almost reaching the maximum angular momentum at $I = 47.5 \hbar$. It is in normal deformation region with $\epsilon \approx 0.22$ and $\gamma \approx 0^\circ$ up to $I = 40 \hbar$ and then moving over the γ -plane to termination at $\gamma = 60^\circ$. Comparing calculations and experiment, one notes that the bands are seen to spin values where according to calculation they start to go away clearly from yrast, thus this supports our interpretation. There are strongly deformed (or superdeformed) bands with $\epsilon \approx 0.35$ and $\gamma \approx 0^\circ$. They were calculated to become yrast for $I = 40 \hbar$ making it very unlikely that the observed bands were strongly deformed. However, they represent a challenge for future experiments. Below $I = 21.5 \hbar$ the experimental high spin bands appear to have strong pairing interaction since their moments of inertia go down to $10 \hbar^2 \text{ MeV}^{-1}$ from $I = 11.5 \hbar$ to $I = 19.5 \hbar$.

Key words: band termination; bands ; configuration-related cranking shell model

* **Foundation item:** Supported by the Nuclear Industry Science Foundation of China Contract (Y7197A0111, H 7196A0101)