

^{164}Lu 的三轴超形变核态的研究*

王小明^{1,2} 于少英^{1,2,4;1)} 沈彩万^{3,4} 陈永寿^{3,4}

1(湖州师范学院理学院 湖州 313000)

2(内蒙古民族大学物理与机电学院 通辽 028043)

3(中国原子能科学研究院 北京 102413)

4(中国科学院理论物理所 北京 100080)

摘要 利用 TRS 方法对双奇核 ^{164}Lu 的位能面进行了计算, 确认了 ^{164}Lu 核的一条三轴超形变带, 结果与实验较好地符合, 同时指出了三轴超形变带的一个具体的组态.

关键词 TRS 方法 三轴超形变 高自旋态

1 引言

近年来实验上不断发现新的非轴对称的三轴超形变核态, 三轴超形变问题引起人们越来越广泛的关注^[1-3]. 人们已对重稀土区奇 Z 核^{163, 165, 167 Lu} 的一条奇异的 $\pi[660]1/2$ 带已进行了广泛而深入的研究, 但对双奇核的研究却不是很多, 奇奇核的三轴超形变带的组态也很难指定, 文献[4, 5]在 ^{164}Lu 核中观察到了 8 条三轴超形变带, 这些转动带不仅有较大四极形变, 通过总位能面(TES)计算, 把它解释为三轴超形变带. 由于中子系统的壳效应, 对三轴超形变在 $N = 94$ 存在一个很大的能隙, 这一能隙的存在使位能面上出现极小, 其深度与组态有关, 因此三轴超形变的存在主要不是奇质子极化效应的结果, 而是一个普遍现象. 为了从理论上肯定三轴超形变带并且从本质上进行深入研究, 本文用 TRS 方法对 ^{164}Lu 核的一条三轴超形变带进行了研究, 并且指出了它的组态.

2 理论模型

在势场被推转绕 x 轴转动的情况下, 在势场中

运动的准粒子的哈密顿量可以表示为

$$H^p = H_{s.p.}(\epsilon_2, \epsilon_4, \gamma) - \lambda N + \Delta(P + P^+) - \omega J_x, \quad (1)$$

这里 $H_{s.p.}(\epsilon_2, \epsilon_4, \gamma)$ 为粒子在静止势场中的哈密顿量, λ 是化学势, 第三项是对力项, 第四项为科里奥利力项. 在计算中所用的质子和中子的对能隙参数通过质子和中子的奇偶质量差来计算, 计算的公式如下(设 (Z, N) 为研究的核):

$$\begin{aligned} \Delta_n &= \frac{(-1)^N}{4} [B(Z, N-2) - 3B(Z, N-1) + \\ &\quad 3B(Z, N) - B(Z, N+1)], \\ \Delta_p &= \frac{(-1)^Z}{4} [B(Z-2, N) - 3B(Z-1, N) + \\ &\quad 3B(Z, N) - B(Z+1, N)], \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $B(Z, N)$ 为质子数为 Z , 中子数为 N 的原子核的结合能. 由此, 对 ^{164}Lu 求得

$$\Delta_p = 0.9971 \text{ MeV} = 0.1331 \hbar\omega_0,$$

$$\Delta_n = 0.8504 \text{ MeV} = 0.1135 \hbar\omega_0.$$

考虑到对效应随 ω 的增加而减弱, 减弱因子大约在 0.8—0.9 范围内, 在本文的计算中, 减弱因子取 0.9, 即质子取 $0.1198 \hbar\omega_0$, 中子取 $0.1021 \hbar\omega_0$, 计算中使用的 Nilsson 势的谐振子参数 κ 和 μ 取自文献

2004-05-08 收稿

* 国家自然科学基金(10147205)资助

1) E-mail: ysy@hutc.zj.cn

[6]. 需要指出的是,通过选取不同的参数进行检验,结果表明三轴超形变的存在对能隙参数和 κ, μ 的选取不是很敏感. 这样,在转动坐标系中对应给定组态 cf 的体系总能量就可以表示为

$$E(\epsilon_2, \gamma, \omega) = E_{LD}(\epsilon_2, \gamma) + E_{\text{corr}}(\epsilon_2, \gamma, \omega = 0) + E_{\text{rot}}(\epsilon_2, \gamma) + \sum_{i \in cf} e_i^\omega(\epsilon_2, \gamma), \quad (3)$$

其中 E_{LD} 是液滴部分的能量^[7], E_{corr} 是壳效应和对效应^[8]对液滴模型的修正, E_{rot} 为集体转动能,可以通过用准粒子真空态波函数来计算 H^ω 在有转动和无转动时的能量之差来确定^[9]. 最后一项为属于该组态的所有准粒子能量之和. (3)式的所有项都与 Z, N, ϵ_4 有关,这里没有明显写出.

通过对总能量求极小值的方法,就可以确定原子核的平衡形变. 将四极形变 ϵ_2 , 十六极形变 ϵ_4 和三轴形变 γ 均可作为可变参量进行自恰计算. 计算中,先计算出每点 $(\epsilon_2, \gamma, \epsilon_4)$ 的位能 E , 然后再对 ϵ_4 求极小,得到 $E(\epsilon_2, \gamma)$ 和 $\epsilon_4(\epsilon_2, \gamma)$ 两个曲面. 由前一个曲面的局部极小可以确定出 $\epsilon_{2\text{min}}$ 和 γ_{min} , 然后再确定出对应的 $\epsilon_{4\text{min}}$. 这样,该原子核的可能的形变即为 $\epsilon_{2\text{min}}, \gamma_{\text{min}}, \epsilon_{4\text{min}}$. 就确定了原子核的平衡形变.

3 结果和讨论

用三维 TRS 方法对¹⁶⁴Lu 的 $\pi i_{13/2} \otimes \nu i_{13/2} (+, 1)$ 这个组态下的 $(\pi[660]1/2, \alpha = 1/2) \otimes (\nu[642]5/2, \alpha = 1/2)$ 的位能面进行了计算,对于这个奇奇核,分别计算了核实部分的能量和单粒子在同一推转频率下的准粒子能量,然后将两者相加得到原子核体系的总能量. 计算的转动频率为 $\omega = 0.02 \hbar \omega_0$, 在这里 $\omega_0 = 41/\sqrt{A}$ MeV. 选取这个 ω 值做位能面的计算,可以保证不会有带回弯发生,从而确保位能面是对应于给定的二维准粒子组态. 在三维计算中, ϵ_4 取 -0.04 到 0.10 共 11 个点, $\epsilon_2 \cos(\gamma + 30^\circ)$ 从 0.0 到 0.4 共 15 个点, $\epsilon_2 \sin(\gamma + 30^\circ)$ 从 0.1 到 0.4 共 15 个点. 图 1 为 $\omega = 0.02 \hbar \omega_0$ 时¹⁶⁴Lu 的位能面等势图. 从图 1 中可以看出,该曲面存在能量极小点 A.

由图可以确定出 A 点的形变值 γ 约为 19° , 四级形变 ϵ_2 约为 0.38 , 对应 ϵ_4 的值为 0.050 . 可见, A 点实际上代表了一个三轴超形变,它具有很大的拉长形变,同时又具有很大的三轴不对称性,即 γ 接近 19° . 因此 TRS 方法的计算结果说明¹⁶⁴Lu 中确实存在三轴超形带,存在三轴超形变带的组态之一为

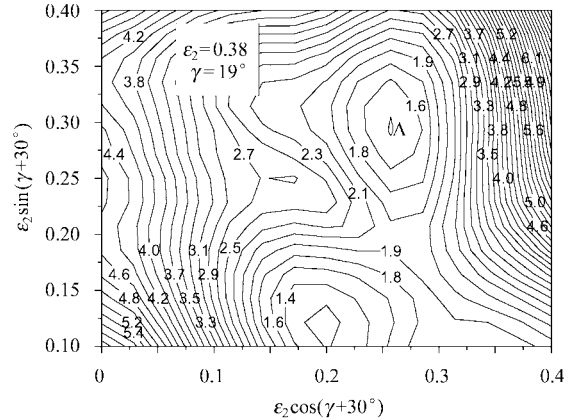


图 1 ¹⁶⁴Lu 的 $(\pi[660]1/2, \alpha = 1/2) \otimes (\nu[642]5/2, \alpha = 1/2)$ 的位能面等势图

$(\pi[660]1/2, \alpha = 1/2) \otimes (\nu[642]5/2, \alpha = 1/2)$. 通过理论计算确认了实验上观察到的¹⁶⁴Lu 的三轴超形变带,并且与实验上得到的 $\epsilon_2 \approx 0.38$ 相符合.

原子核是一个复杂的量子体系,有许多因素决定原子核的形状,如壳修正能量、对能、转动能等. 为了考察引起¹⁶⁴Lu 三轴超形变的原因,图 2 分别给出了(a) 质子壳修正能量;(b) 中子壳修正能量;(c) 质子[660]1/2 准粒子能量;(d)转动能量;(e)对能;(f)液滴能的等势图. 横坐标均为 $\epsilon_2 \cos(\gamma + 30^\circ)$, 纵坐标为 $\epsilon_2 \sin(\gamma + 30^\circ)$. 从图 2(a)–(f)中可以看出在上面列出的影响¹⁶⁴Lu 形变的 6 个因素中,中子壳修正能量在三轴超形变形成过程中起着最重要的作用,在中子壳修正能量的等势图 2(b)中较深的极小点 B 与图 1 的极小点 A 的位置差不多. 这一情况的出现也就说明了壳修正能量导致了¹⁶⁴Lu 的三轴超形变的形成. [660]1/2 准粒子轨道的驱动效应也在三轴超形变的形成中有着重要的作用. 由图 2(c)可知,在 $\epsilon_2 = 0.39$ 附近,准粒子能量最低,且在 γ 方向较“软”,随 γ 的增加准粒子能量略有减小. 由图 2 也可以看出,准粒子轨道的形变驱动效应使原子核朝大形变和大 γ 方向变化. 因此,核实的能量加上准粒子能量后,使得在 $\epsilon_2 = 0.38, \gamma = 19^\circ$ 附近的能量比较平坦,而且出现了局部极小.

由上面的计算和仔细分析,从理论上证实了实验上观察到的¹⁶⁴Lu 对应 $\pi i_{13/2} \otimes \nu i_{13/2} (+, 1)$ 的三轴超形变带为 $(\pi[660]1/2, \alpha = 1/2) \otimes (\nu[642]5/2, \alpha = 1/2)$, 其形变值是 $\epsilon_2 = 0.38, \gamma = 19^\circ, \epsilon_4 = 0.050$. 导致¹⁶⁴Lu 发生三轴超形变的主要因素是原子核的壳效应,特别是中子壳效应. 同时质子[660]1/2 准粒子轨道形变驱动效应也起了一定作用.

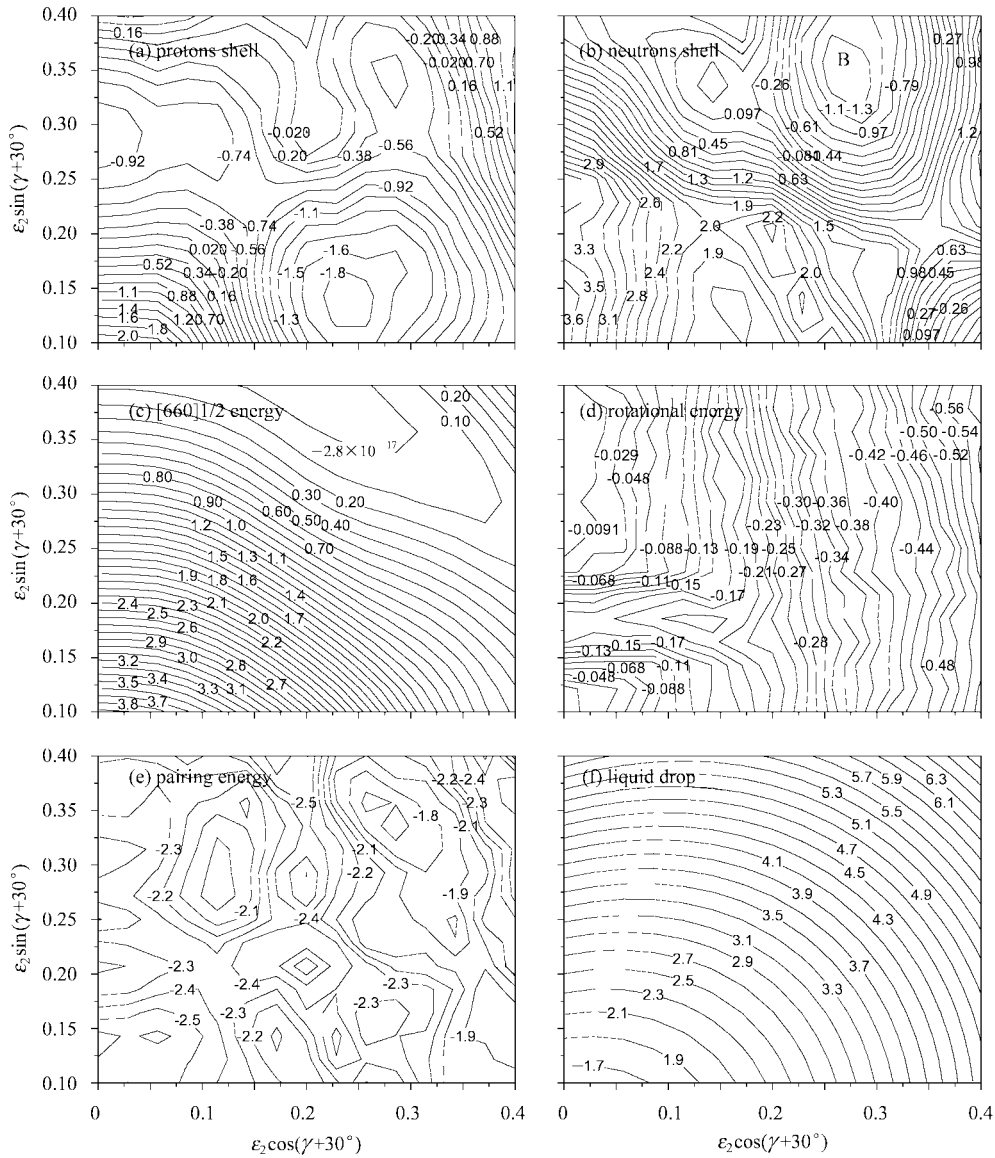


图 2 总位能面分解后的各部分能量曲面等势线

参考文献 (References)

- 1 SHEN Cai-Wan, CHEN Yong-Shou, ZHAO En-Guang. *Chin. Phys. Lett.*, 2000, **17**(6): 488
- 2 YANG C X, WU X G, ZHENG H et al. *Phys. J.*, 1998, **A1**:237—239
- 3 Djongolov M, Hannachi D J et al. *Phys. Lett.*, 2003, **B560**:24—30
- 4 Törnänen, ødegård S W, Hagemann G B et al. *Phys. Lett.*, 1999, **B454**:8—14
- 5 Schönwäßer G, Hübel H, Hagemann G B et al. *Eur. Phys. J.*, 2002, **A15**:435—437
- 6 Bengtsson T, Ragnarsson I. *Nucl. Phys.*, 1985, **A436**:14—82
- 7 Wapstra A H, Audi G. *Nucl. Phys.*, 1985, **A432**:1—55
- 8 Strutinsky V M. *Nucl. Phys.*, 1968, **A122**:1; 1967, **A95**:420—442
- 9 Wyss R et al. *Phys. Lett.*, 1988, **B215**:211—217

Theoretical Study of Superdeformed Triaxial States in ^{164}Lu *

WANG Xiao-Ming^{1,2} YU Shao-Ying^{1,2,4;1)} SHEN Cai-Wan^{3,4} CHEN Yong-Shou^{3,4}

1(Faculty of Science, Huzhou Teachers College, Huzhou 313000, China)

2(Faculty of Science and Engineering, Inner Mongolia University For Nationalities, Tongliao 028043, China)

3(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

4(Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract The triaxial superdeformed band in nucleus ^{164}Lu are identified by three dimensional self-consistent TRS calculation. The calculated results agree with the data. The configuration of the triaxial superdeformed band is assigned as $(\pi[660]1/2, \alpha = 1/2) \otimes (\nu[642]5/2, \alpha = 1/2)$.

Key words TRS method, triaxial superdeformed, high-spin state

Received 8 May 2004

* Supported by National Natural Science Foundation of China(10147205)

1) E-mail: ysy@hutc.zj.cn