

^{175}Hf 原子核的三轴超形变的探寻*

李晓伟^{1,2} 于少英^{1,2,4,1)} 沈彩万^{1,5} 陈永寿^{3,4,5}

1 (湖州师范学院理学院 湖州 313000)

2 (浙江师范大学数理学院 金华 321000)

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)

5 (兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心 兰州 730000)

摘要 通过采用 TRS 方法对实验上新发现的 ^{175}Hf 原子核的两条高自旋转动带进行了研究, 以证明是否具有三轴超形变, 并且为了使结果能够更准确可靠, 选取了最靠近费米面的 5 个准粒子的组态进行了计算, 但是在这个组态上最后得出的总位能面上并没有发现能表明三轴超形变的明显的第二极小点的存在.

关键词 三轴超形变 TRS 方法 组态 位能面

1 引言

自从 1992 年, 第一次在实验上找到 ^{163}Lu 的三轴超形变带以来^[1], 不论在实验上还是在理论上, 三轴超形变一直都是大家很关注的热点问题. 尤其是稀土区的原子核很大的稳定形变, 更引起人们的注意. 很多的实验和理论都对这一区域进行了研究, 而且颇有收获. 到目前为止, 人们已经对 Lu 的同位素有了一个较好的了解: 关于三轴超形变带在 ^{161}Lu 中发现了一条^[2], ^{162}Lu 中发现 3 条^[2], ^{163}Lu 中发现 4 条^[3-5], ^{164}Lu 中发现 8 条^[6], ^{165}Lu 中发现 3 条^[1, 7], ^{167}Lu 中发现 3 条^[8, 9]. 此外, 近来对于稀土区内另外一个元素 Hf 的同位素的研究也越来越多. ^{168}Hf 中发现 3 条三轴超形变^[10], ^{170}Hf 中发现 1 条^[11], ^{174}Hf 中发现 4 条^[12].

在理论上, 为了理解 Lu 核的三轴超形变机制, 一系列的 UC (Ultimate Cranker) 计算被进行^[1, 13-15]. 发现对于 $Z \approx 72$, $N \approx 92, 94$ 的核, 在很大的转动频率下具有稳定的三轴超形变, 形变值为 $\varepsilon_2 \approx 0.39$, $\gamma \approx 20^\circ$. 在这个理论的指导下, 人们都把探寻三轴超形变的注意力集中在 $N \approx 92, 94$ 这个区域中. 这个理论在 Lu 同位素中得到了证实. 然而对于 Hf 同位素却没有得到人们预期的实验结果. 到目前, 在 $^{164, 166}\text{Hf}$ 中

并没有发现三轴超形变带. 不过, 却在 ^{174}Hf 中发现了 4 条三轴超形变带. 它比先前预测的 $N \approx 94$ 多了 8 个中子. 进一步的 UC 计算表明, 在 $N=100$ 和 106 区域发现了新的壳能隙, 具有的形变值 $\varepsilon_2 \approx 0.45$, $\gamma \geq 15^\circ$ ^[12], 从而解释了在 ^{174}Hf 发现的超形变带.

最近, 实验上, 在 ^{175}Hf 中发现了两条高自旋转动带^[16], 所具有的大的转动惯量和其与转动频率的关系与 Lu 和其他 Hf 同位素的很相似. 到底这两条新发现的转动带是否为三轴超形变带, 一直存在着争议^[17]. 本文中, 将通过 TRS 方法对 ^{175}Hf 进行一定的研究, 希望能作为进一步研究的参考.

2 理论框架

在 TRS 方法中, 采用 Nilsson 势作为单粒子势, Nilsson 势参数为 κ 和 μ , 其值取自文献[13], 对于对效应的处理采用 BCS 理论^[18], 对能隙参数通过质子和中子的奇偶质量差来计算得出: 对于 ^{175}Hf , 中子壳能隙 $\Delta_n = -0.1149\hbar\omega_0$, 质子壳能隙 $\Delta_p = -0.0958\hbar\omega_0$. 由于在转动核中, 对效应会减弱, 因此, 乘上一个 0.9 的减弱因子, 则 $0.9\Delta_n = -0.1034\hbar\omega_0$, $0.9\Delta_p = -0.0863\hbar\omega_0$.

2006-01-24 收稿

* 国家自然科学基金(10575036)和浙江省自然科学基金(Y604027, Y605476)资助

1) E-mail: ysy@hutczj.cn

在势场绕 X 轴转动下, 在其中运动的准粒子的哈密顿量为

$$H^\omega = H_{s.p.}(\varepsilon_2, \varepsilon_4, \gamma) - \lambda N + \Delta(P + p^\dagger) - \omega j_x$$

其中 $H_{s.p.}$ 是静止势场中的粒子哈密顿量, λ 为化学势, N 为粒子数. 第三项是对力项, 第四项是科里奥利力.

在转动坐标系下, 对给定组态的体系总能量为

$$E(\varepsilon_2, \gamma, \omega) = E_{LD}(\varepsilon_2, \gamma) + E_{corr}(\varepsilon_2, \gamma, \omega = 0) + E_{rot}(\varepsilon_2, \gamma, \omega) + \sum_{i \in cf} e_i^\omega(\varepsilon_2, \gamma)$$

其中 E_{LD} 为液滴能, E_{corr} 为壳修正和对修正能, E_{rot} 为集体转动能. 最后一项为所给组态的所有准粒子能量和.

3 计算结果和讨论

对于三轴超形变带的形成, 高 j 侵入轨道的形变驱动效应起了很大的作用. 对本文所研究的 ^{175}Hf 核的三轴超形变带, 由于它的顺排角动量很大^[16], 由此, 推测它是由于具有5个准粒子的组态. 本文选取距费米面最近的两个质子组态 ($\pi[660]1/2, \alpha = 1/2$) \otimes ($\pi[651]3/2, \alpha = 1/2$) 和3个中子组态 ($\nu[624]9/2, \alpha = 1/2$) \otimes ($\nu[633]7/2, \alpha = 1/2$) \otimes ($\nu[523]5/2, \alpha = -1/2$) 的组态. 转动频率 $\omega = 0.02\hbar\omega_0$, 本文是固定 $\varepsilon_4 = 0.03$ 的二维计算. 总位能面等势图如图1所示. 从图中并没有发现明显的表征三轴超形变的第二极小点, 因此, 在所

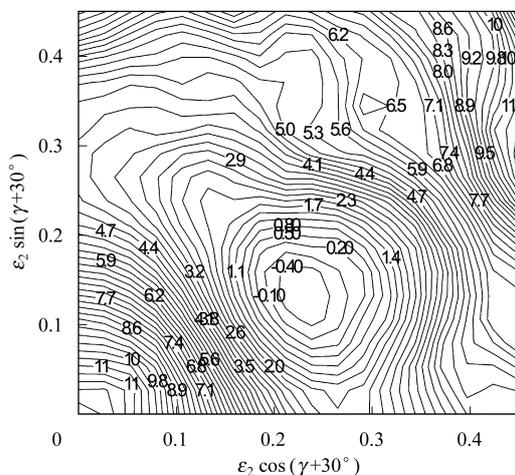


图1 ^{175}Hf 的总位能面(能量单位均为: MeV)

选定的转动频率和具体的组态的条件下, 还不能得出存在三轴超形变的结论. 为了更好的理解我们的结果, 图2给出了质子和中子的壳修正位能面图, 从图中可以看到, 质子的壳修正更有利于三轴超形变的形成. 然而对于中子却没有这样的迹象, 这与Lu核恰恰是相反的. 另外从能量上看, 中子壳修正的能量比质子壳修正的高很多, 并且壳修正对总位能的影响是很大的, 所以, 在总位能面上, 质子的影响就没有很明显的表现出来.

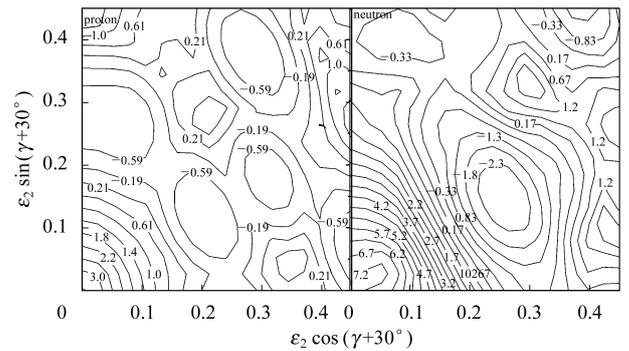


图2 质子和中子的壳修正

在图3中, 可以看到, 对于质子, 都是有利的三轴超形变的存在的, 不过, ($\pi[660]1/2, \alpha = 1/2$) 要比 ($\pi[651]3/2, \alpha = 1/2$) 的作用更大一点. 可见, 与Lu还是具有很大的相似性的. 而对于中子却没有一致的规律性.

由于对于本文 ^{175}Hf 核, 考虑的是两个 $\pi i_{13/2}$, 这也可能是导致在上面质子壳修正图中所表现出来的与以前所研究的Lu核的不同的原因. 然而, 对于中子, 从图中的表现来看, 是不利于三轴超形变的形成的. 从总体上来看, 质子和中子准粒子的能量相差不多, 因此对总位能面的影响也就不会太大, 而且与壳修正相比处于次要地位, 所以不足以改变中子壳修正对总位能的影响.

但也并不能做出 ^{175}Hf 原子核没有三轴超形变的判断, 因为, 转动频率选取的不同, 总位能面的结果也就不同; 另外, 对于TRS方法, 所选取的具体的组态也是可以不同的, 本文中由于是5个准粒子的组态, 所以组态的可能组合是很多的, 这也影响着我们最后的结果. 因此, 今后, 更多更细致的研究是有必要的.

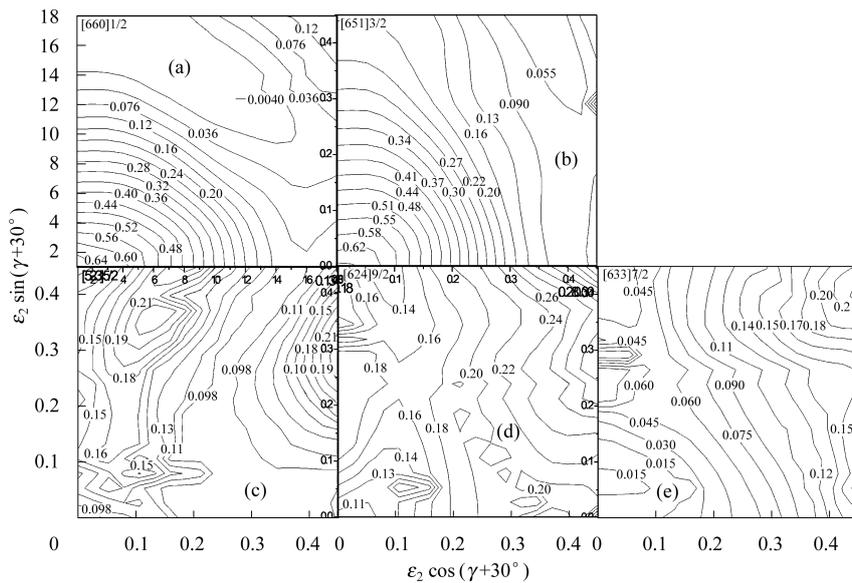


图 3 所选的 5 个准粒子的能量图

(a) 质子[660]1/2; (b) 质子[651]3/2; (c) 中子[523]5/2; (d) 中子[624]9/2; (e) 中子[633]7/2.

参考文献(References)

- 1 Schmitz W, YANG C X et al. Nucl. Phys., 1992, **A539**: 112
- 2 Bringel P et al. Eur. Phys. J., 2003, **A16**: 155
- 3 Schmitz W et al. Phys. Lett., 1993, **B303**: 230
- 4 Domscheit J et al. Nucl. Phys., 1999, **A660**: 381
- 5 Jensen D R et al. Nucl. Phys., 2002, **A703**: 3
- 6 Törmänen S et al. Phys. Lett., 1999, **B454**: 8
- 7 Schönwaber G et al. Phys. Lett., 2003, **B552**: 9
- 8 Young C X et al. Eur. Phys. J., 1998, **A1**: 237
- 9 Amro H et al. Phys. Lett., 2003, **B553**: 197
- 10 Amro H et al. Phys. Lett., 2001, **B506**: 39
- 11 NeuBer A et al. Eur. Phys. J., 2002, **A15**: 439—441
- 12 Djongolov M et al. Phys. Lett., 2003, **B560**: 24—30
- 13 Bengtsson T, Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1985, **A436**: 14
- 14 Bengtsson T, Ragnarsson I. Nucl. Phys., 1990, **A512**: 124
- 15 Bengtsson R et al. Nucl. Phys., 1994, **A569**: 469
- 16 Scholes D T et al. Phys. Rev., 2004, **C70**: 054314
- 17 Walker P M et al. Phys. Rev., 2005, **C71**: 067303
- 18 Bohr A, Mottelson B R, Pines D. Phys. Rev., 1958, **110**: 936

Searching Triaxial Superdeformation in ^{175}Hf *

LI Xiao-Wei^{1,2} YU Shao-Ying^{1,2,4;1)} SHEN Cai-Wan^{1,5} CHEN Yong-Shou^{3,4,5}

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

2 (College of Mathematics and Physics, Zhejiang Normal University, Jinhua 321000, China)

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

4 (Institute of Theoretical Physics, CAS, Beijing 100080, China)

5 (Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China)

Abstract A two-dimensional Total Routhian Surface(TRS) calculation is carried out in order to ascertain if there is triaxial superdeformation in ^{175}Hf . A five quasi-particle configuration is chosen in the calculation. Unfortunately, the TRS minimum does not show up in the total potential energy surface.

Key words triaxial superdeformation, TRS, configuration, potential energy surface

Received 24 January 2006

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10575036) and Natural Science Foundation of Zhejiang Province of China (Y604027, Y605476)

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