

^{171}Lu $1/2^-$ [541]轨道的形变驱动作用*

马英君 郑 华 孙慧斌 杨洪庭 周善贵

丁有贵 霍俊德 刘运祚

(吉林大学物理系 长春 130023)

刘祥安 温书贤 杨春祥

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

1995-11-27 收稿

摘 要

通过熔合蒸发反应 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 6n2p)$ 对 ^{171}Lu 的 $1/2^-$ [541]转动带进行了研究,观测到了此带的第一带交叉频率.与相邻偶偶核相比该频率值推迟了约40keV.推转壳模型对单准质子的顺排角动量和能量的计算结果表明 $\pi h_{9/2}$ [541] $1/2^-$ 轨道的形变驱动作用对这种推迟的贡献是不应被忽略的.

关键词 形变驱动,反常带交叉频率,高自旋态.

1 引 言

早在1981年, S. Frauendorf就指出了稀土区奇质子核($Z=73, 71, 69, 67$)基于 $1/2^-$ [541] Nilsson组态的转动带的第一带交叉频率反常推迟的现象^[1],然而对这一现象机制的解释至今仍处于争论之中.例如:形变驱动的观点^[2];中子对与准质子剩余相互作用的观点^[3];四极对力的观点^[4]等.四极形变值的实验测量^[5]及理论计算^[6]都表明单纯依靠四极形变的增大一般只能解释这种反常推迟的一小部分,在这种情形下,四极对力的观点似乎更值得信服,但是值得指出的是,四极对力的观点不需要考虑原子核的形变参量,而是调大哈密顿量中四极对力项的系数^[4].而实际上当 $h_{9/2}$ [541] $1/2^-$ 长椭轨道位于质子费米面之上时,其驱动核实形变增大的极化效应必然导致中子费米面更加远离可拆对的低 Ω 中子的单粒子能级,并因此进一步导致中子拆对的推迟.因此,上述的反常推迟必然包含形变驱动的贡献.这一观点至少有下列的两点理由:第一,当质子数增大至 $Z=77$ 以上时,上述的反常推迟现象消失^[7],这与准质子以空穴态的形式占据 $h_{9/2}$ [541] $1/2^-$ 轨道而使其失去形变驱动作用密切相关;第二,这一区基于 $\pi h_{11/2}$ [514] $9/2^-$ 组态上的转动带的第一带交叉比相邻偶偶核的第一带交叉略有提前是由 $9/2^-$ [514]扁椭轨道对核实的极化效应所导致的^[7];类似地,高度长椭的 $\pi h_{9/2}$ [541] $1/2^-$ 轨道对核实的极化效

* 国家自然科学基金资助.

应必然也会对基于此组态上的转动带的第一带交叉频率产生应有的影响. 在另一方面, 增大的四极形变不仅是在一定程度上解释 $1/2^- [541]$ 转动带交叉频率延迟的需要, 同时也是从理论上再现带交叉之前的单准粒子的顺排角动量 (alignment) i_x 及能量 (Routhian) ϵ' 的需要, 而这两个物理量是不应受到中子间四极对力的显著影响的. 本文正是从这一角度出发依据推转壳模型 (CSM)^[8] 对 ^{171}Lu $1/2^- [541]$ 轨道的形变驱动作用进行了初步的探讨.

2 实验方法和结果

在我们的实验之前, 对 ^{171}Lu 能级结构最为详细的研究见文献[9], 该文通过 $(\alpha, 2n)$ 反应对 ^{171}Lu 能级结构的研究. ^{171}Lu 的高自旋态是难于同时用 $A > 10$ 的入射束和 $4n, p3n$ 或 $5n$ 反应道来布居的, 因此其带交叉频率数据至今未见报道. 我们选用了 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 6n2p)$ 反应道, 束流由中国原子能院 HI-13 串列加速器提供, 能量为 $E=92\text{MeV}$; 靶的厚度为 $2\text{mg}/\text{cm}^2$, 纯度为 98.6%, 靶后蒸有约 $5\text{mg}/\text{cm}^2$ 的铅衬; 用 7 台带有反康的 HPGe 探测器和 1 台小平面型 Ge(Li) 探测器对 $\gamma-\gamma$ 符合进行了测量; 共计获得两重符合事件约 70 个百万.

$^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 6n2p)^{171}\text{Lu}$ 反应道是所用反应的副反应道, 生成剩余核 $^{173}, ^{174}\text{Ta}$ 的反应道是两个主反应道. 通过离线分析可建立 ^{171}Lu 基于 $1/2^- [541]$ 和 $7/2^+ [404]$ 两个组态上的转动带, 其中后者与文献[9]的结果完全一致, 而前者则可以从文献[9]试探性建立的 $29/2^+$ 推高至 $45/2^+$, 如图 1 所示. 对于图 1 中各跃迁多极性 ($E2$) 的确定是以 ^{171}Lu 区域各核基于 $\pi h_{9/2} [541] 1/2^-$ 组态的转动带的极强系统学规律为根据的. 为了获悉 ^{171}Lu 核 $1/2^- [541]$ 带的回弯频率并与理论相比较, 我们按照常规的方法^[8,11] 把该转动带的能级能量 E 和自旋 I 转换为转动系下的准粒子能量 (Routhian) ϵ' 和顺排角动量 (alignment) i_x , 如图 2 所示 (计算中未作 $I(I+1) - K^2 \approx I(I+1)$ 的近似). 从图 2 可以看到, ^{171}Lu $1/2^- [541]$

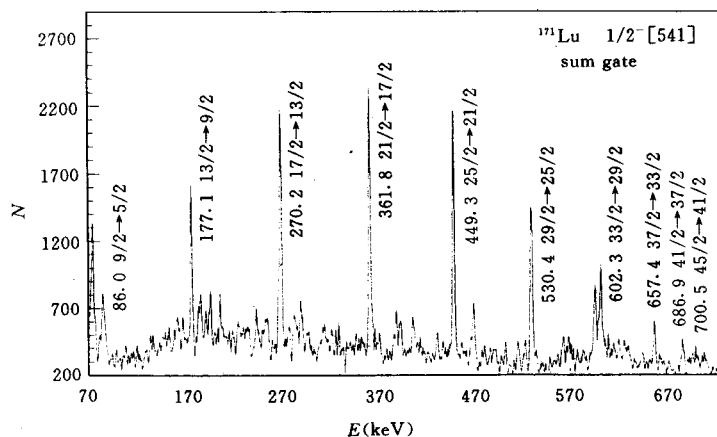


图 1 ^{171}Lu $1/2^- [541]$ 带的加和符合谱

标出了 ^{171}Lu 的跃迁能量及始末自旋宇称值, 未标记的峰来自于 $^{173,174}\text{Ta}$.

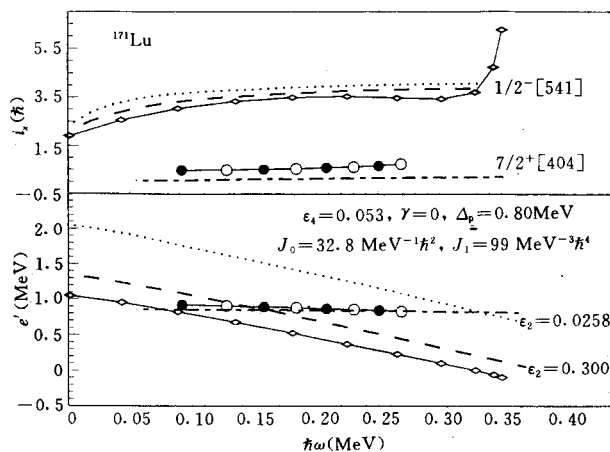


图 2 ^{171}Lu 核基于 1/2-[541] 及 7/2+[404] 组态的实验 Alignment 和 Routhian (实线, 带符号) 以及相应的推转壳模型的理论计算结果(虚线) 主要参数标于图中, 其中形变参数取自文献[13] Δ_p 表示质子对力。

带在 $\hbar\omega \approx 0.34\text{MeV}$ 处呈现上弯 (upbend). 由于较强的带间相互作用^[1,8], $e' \sim \omega$ 曲线上不存在实际的交叉, 带交叉频率值也就不能更精确地确定. 另外为了比较, 图 2 也画出了 7/2+[404] 转动带的实验 Routhian 和 alignment, 以及相应的两转动带的 Routhian 和 alignment 的理论计算结果(见下文).

3 讨 论

^{171}Lu 的相邻偶偶核 ^{170}Yb ^[10] 和 ^{172}Hf ^[11] 都在 $\hbar\omega \approx 0.30\text{MeV}$ 处呈现上弯(第一带交叉), 这样, ^{171}Lu 核 1/2-[541] 带的第一带交叉频率比其相邻偶偶核相应值延迟了约 40keV, 因此 ^{171}Lu 的 1/2-[541] 带也同样遵循文献[7]所描述的系统学规律. 那么这一规律的机制是什么呢? 自然地人们会首先想到 $\pi h_{9/2}[541]1/2^-$ 轨道对核实的长椭极化作用, 例如参考文献[2]指出: 把 ^{175}Ta 的四极形变参量从 Lund 系统值 $\epsilon_2 = 0.25$ 提高到 $\epsilon_2 = 0.30$ 则可利用推转壳模型 (CSM) 从理论上再现 ^{175}Ta 1/2-[541] 带的实验第一回弯频率. 而 J. Gascon 等人对 ^{157}Ho 核 1/2-[541] 带四极形变的测量结果则表明其远不足以利用 CSM 来再现此带的第一回弯频率^[5]. 另外, W. Nazarewicz 等人所得到的一系列核的组态相关的形变参量也同样表明稀土区核 $\pi h_{9/2}[541]1/2^-$ 轨道的形变驱动作用一般只能解释基于此组态上的转动带的第一带交叉反常推迟的一少部份^[6]. 不仅如此, 理论和实验结果都表明随着形变的增加中子对关联减弱^[12], 如果考虑了这一因素, 那么文献[2]用以再现回弯频率的 ϵ_2 值将会大到更加不合理的程度. 综上所述, 单纯通过四极形变的增大来简单地解释 $\pi h_{9/2}[541]1/2^-$ 带的第一带交叉频率反常推迟是行不通的. 最近, Sun Yang 等人通过角动量投影法在哈密顿量中引入四极对力项来解释 Ta 同位素核 1/2-[541] 带第一带交叉频率的反常推迟^[4], 他们的观点似乎被大部份人所接受. 然而如前文所述, 这种方法的哈密顿量与核

的形变参数没有联系, 换句话说就是不需考虑 $\pi h_{9/2}[541]1/2^-$ 轨道的形变驱动作用, 而实际上这种形变驱动作用是实际存在的并必将对中子的拆对产生应有的影响. 为了证明这一观点, 我们利用推转壳模型(CSM)^[8] 计算了 ^{171}Lu 核基于 $1/2^-[541]$ 和 $7/2^+[404]$ 组态的两条转动带在中子拆对以前的单准质子 alignment 和 Routhian, 如图 2 中虚线所示. 从中可以定性地看到, 为了更好地再现基于 $1/2^-[541]$ 组态单准质子的实验 alignment 及 Routhian, 相应的 ε_2 值必须比相应于基态组态的 ε_2 值($\varepsilon_2=0.258^{[13]}$) 增大. 至于定量增大多少, 由于其它各参数的局部不唯一性和理论模型的不完善性而不必确定. 但不论参数怎样合理地改变或理论模型怎样进一步完善, 关于 $1/2^-[541]$ 组态的四极形变增大这一结论则是可靠的, 这一点可以以 R. Bengtsson 和 S. Frauendorf 很好再现了实验的大量理论计算^[8] 所得出的相同结论为根据. 值得强调指出的是, 中子间的四极对力会延迟中子对的拆对顺排但不会对带交叉之前的上述单准质子的 alignment 及 Routhian 产生显著的影响, 尤其是在准质子与准中子处于不同的大壳层的情况下. 因此通过图 2 的计算我们可以看到 ^{171}Lu $1/2^-[541]$ 轨道的形变驱动作用. 采用参考文献[6]的形变计算结果($\varepsilon_2=0.282$), 利用 CSM 的计算表明这种形变驱动作用可以解释上述带交叉频率反常推迟 40keV 的 $\sim 20\%$.

4 总 结

通过核反应 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 6n2p)$ 对 ^{171}Lu 的高自旋态进行了研究, 将该核基于 $1/2^-[541]$ 组态上的转动带由以前尝试性的 $29/2^+$ 态推高至 $45/2^+$ 态并因此观测到了此带的第一带交叉频率. 与相邻偶偶核比较, 此频率值推迟了约 40keV. 通过对带交叉之前单准质子 alignment 及 Routhian 的计算证明了 ^{171}Lu 核 $1/2^-[541]$ 轨道的 ε_2 形变驱动作用, 并主张上述反常推迟的 20% 是来自于这种形变驱动作用.

参 考 文 献

- [1] S. Frauendorf, *Phys. Scripta*, **24**(1981)349.
- [2] W. Shuxian et al., *Z. Phys.*, **A339**(1991)417.
- [3] C. X. Yang et al., *Chin. J. Nucl. Phys.*, **16**(1994)217.
- [4] Yang Sun, Shuxian Wen, Da Hsuan Feng, *Phys. Rev. Lett.*, **72**(1994)3483.
- [5] J. Gascon et al., *Nucl. Phys.*, **A513**(1990)344.
- [6] W. Nazarewica, M. A. Rily, J. D. Garrett, *Nucl. Phys.*, **A512**(1990)61.
- [7] C. X. Yang et al., *Chin. J. Nucl. Phys.*, **16**(1994)223.
- [8] R. Bengtsson, S. Frauendorf, *Nucl. Phys.*, **A327**(1979)139.
- [9] P. Kernnitz et al., *Nucl. Phys.*, **A209**(1973)271.
- [10] W. H. Bentley et al., *Nucl. Phys.*, **A365**(1981)61.
- [11] E. S. Paul et al., *J. Phys.*, **G11**(1985)L53.
- [12] H. J. Jensen et al., *Z. Phys.*, **A340**(1991)353.
- [13] P. Moller et al., *Atomic Data and Nucl. Data Tab.*, **59**(1995)185.

The Deformation – Driving Character of the $1/2^-$ [541] Orbit in ^{171}Lu

Ma Yingjun Zheng Hua Sun Huibin Yang Hongting Zhou Shangui
Ding Yougui Huo Junde Liu Yunzuo

(*Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023*)

Liu Xiang Wen Shuxian Yang Chunxiang

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

Received 27 November 1995

Abstract

The $1/2^-$ [541] band in ^{171}Lu is extended up to neutron crossing by using heavy-ion induced reaction $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 6n2p)$ at a bombarding energy of 92MeV. It shows delayed neutron crossing frequency in comparison with the even-even neighbors. Calculations based on cranked shell model suggest that the role played by the deformation-driving effect of the $\pi h_{9/2}[541]1/2^-$ orbit shouldn't be ignored in the delay of the bandcrossing in ^{171}Lu .

Key words deformation-driving character, anomalous crossing frequency, high spin states.