

## 双奇核中 $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$ 带的系统学特征\*

赵广义<sup>1</sup> 陆景彬<sup>1</sup> 马英君<sup>1</sup> 尹利长<sup>1</sup> 李险峰<sup>1</sup> 李智焕<sup>1</sup>  
王智魁<sup>1</sup> 吴晓光<sup>2</sup> 李广生<sup>2</sup> 温书贤<sup>2</sup> 杨春祥<sup>1,2</sup> 刘运祚<sup>1</sup>

1(吉林大学物理系 长春 130023)

2(中国原子能研究院 北京 102413)

**摘要** 通过束流能量为 97MeV 的  $^{152}\text{Sm}(^{19}\text{F}, 5n)^{166}\text{Lu}$  熔合蒸发反应, 用在束  $\gamma$  (谱学方法研究了  $^{166}\text{Lu}$  的高自旋态, 建立了 5 条转动带, 其中 3 条带是本实验中首次确定的. 发现了  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  带的低自旋旋称反转现象, 该带的反转点自旋值 17.5 $\hbar$  同  $A=170$  区奇奇核的  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的反转点变化趋势非常相符.

**关键词** 高自旋态 稀土奇奇核 旋称反转

### 1 引言

在最近奇奇核高自旋态的研究工作中,  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的低自旋旋称反转现象受到了广泛关注, 在该带与已知自旋和宇称的基态或同质异能态相连以便得到确定的自旋方面, 人们付出了很大的努力. 在文献[1—6]中这些努力获得了成功, 使得研究  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的系统学规律成为可能. 在以前的研究工作中,  $^{166}\text{Lu}$  [7] 中  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  带的能级摆动规律与相邻奇奇核完全不同, 为了澄清该问题和扩展  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的系统学, 重新对  $^{166}\text{Lu}$  的高自旋态进行了研究.

### 2 实验和数据分析

实验是在北京中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上进行的, 通过束流能量为 97MeV 的  $^{152}\text{Sm}(^{19}\text{F}, 5n)^{166}\text{Lu}$  熔合蒸发反应, 用在束  $\gamma$  谱学方法研究了  $^{166}\text{Lu}$  的高自旋态, 实验用的靶厚度为 0.5mg/cm<sup>2</sup> 的  $^{152}\text{Sm}$  箔. 用 10 台 HpGe 探测器组成的探测阵列进行  $\gamma$ - $\gamma$  符合测量. 为了提高峰康比, 每个探测器都有一个对称型的 BGO 反康普顿屏蔽装置. 这些探测器放在与束流成 38°, 90° 和 144° 的位置上以便获得  $\gamma$  射线的 DCO 值, 实验记录了

\* 国家自然科学基金和国家重大基础研究发展规划项目(G20000774)资助

$1.27 \times 10^8$  个两重或多重符合事件.

### 3 结果和讨论

实验中建立的纲图如图 1 所示,各转动带的相应组态在下面标出.从文献[1-6]的 E2 退激序列在文献[7]中得到报道,文献[7-9]的 E2 退激序列是在本文中新建的. $^{166}\text{Lu}$  中各  $\gamma$  射线的归属主要是在以前对 $^{166}\text{Lu}$ [7], $^{165}\text{Lu}$ [8], $^{166}\text{Yb}$ [10], $^{167}\text{Lu}$ [9]和 $^{163}\text{Tm}$ [15]的能级纲图了解的基础上确定的.由于实验中铅的 X 射线的干扰,我们不能确定文献[7]中带 A 和带 B 与基态间的连接跃迁,所以在实验中这些连接跃迁在本纲图中没有包括.

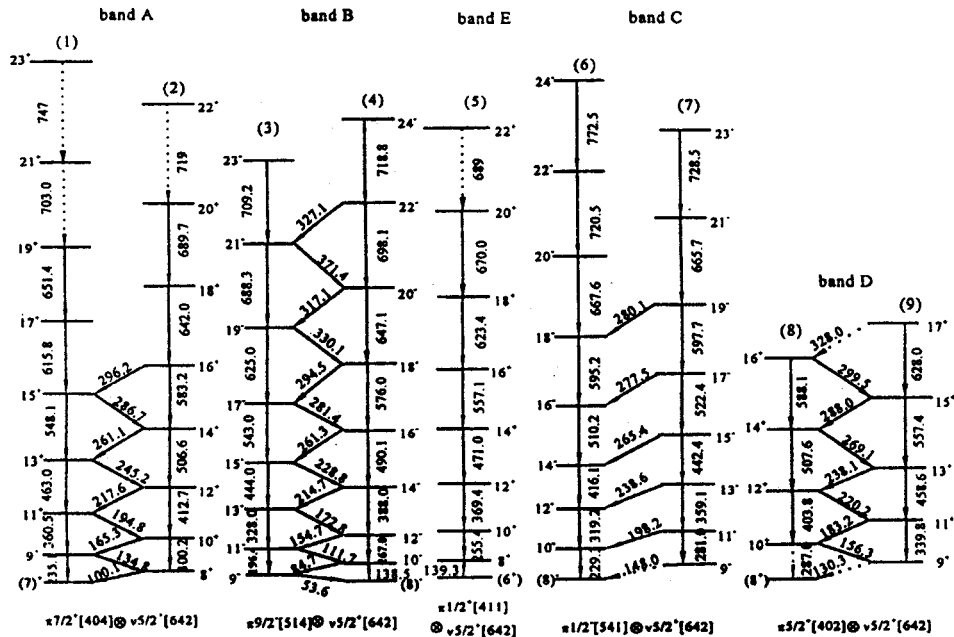


图 1  $^{166}\text{Lu}$  能级纲图

(I)<sup>±</sup> 和 (I')<sup>±</sup> 分别代表自旋不确定与自旋宇称均不确定.

图 2 中画出本实验中建立的 5 条转动带的准粒子顺排随转动频率的变化曲线(只画出了  $\alpha=0$  分支).由于在该核区,正常的  $i_{13/2}$  中子顺排通常发生在 0.26MeV 处,但在图 2 中,在 0.26MeV 处没有发生  $i_{13/2}$  中子顺排所导致的上弯,表明在实验中建立的 5 个带的中子均占据  $i_{13/2}$  轨道.到目前为止, $^{165}\text{Lu}$ [8]和 $^{167}\text{Lu}$ [9]中均只发现了基于  $\pi 7/2^+ [404]$ ,  $\pi 9/2^- [514]$ ,  $\pi 1/2^- [541]$ ,  $\pi 1/2^+ [411]$ ,  $\pi 5/2^+ [402]$  和  $1/2^+ [660]$  6 个轨道的转动带,而在 $^{165}\text{Yb}$ [10]和 $^{167}\text{Hf}$ [11]中的晕带组态均是  $\nu 5/2^+ [642]$ ,很自然的  $\nu 5/2^+ [642]$  轨道和上述 6 个质子轨道构成的带是实验中建立的 5 个带组态的最可能的侯选者.带 A 和带 B 的组态在文献[7]分别是  $\pi 7/2^+ [404] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  和  $\pi 9/2^- [514] \otimes \nu 5/2^+ [642]$ ,与实验结果相符.在相邻奇奇核中建立的  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带均有大的旋称劈裂、低自旋旋称反转、延迟的 BC 带交叉和很

小的  $B(M1)/B(E2)$  比值等特征, 本文中的带 C 也具有以上各特征. 通过图 2 可看出带 C 的 BC 带交叉比带 A 和带 B 均有延迟, 带 C 的大的旋称劈裂和低自旋旋称反转可从图 3 中看出, 另外带 C 的  $B(M1)/B(E2)$  比值约为  $0.25 \mu_N^2 / e^2 b^2$  与相邻的奇奇核  $^{162}\text{Tm}^{[1]}$ ,  $^{164}\text{Tm}^{[2]}$  和  $^{174}\text{Ta}^{[3]}$  非常一致. 基于以上的考虑我们把带 C 的组态定为  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^+ [642]$ . 带 E 只发现了一个退激序列, 它的最大可能是  $\pi 1/2^+ [411] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  带的  $\alpha = 0$  分支,  $^{162}\text{Tm}$  和  $^{164}\text{Tm}$  中  $\pi 1/2^+ [411] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  带的  $\alpha = 0$  分支与带 E 的能级相似性也支持对该带组态的假定. 带 D 的强度很弱, 并且是一个强耦合带, 把该带的组态假定为  $\pi 5/2^+ [402] \otimes \nu 5/2^+ [642]$ ,  $^{162}\text{Tm}$  中  $\pi 5/2^+ [402] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  带与带 E 的能级相似性也支持对该带组态的假定.

自旋的确定主要通过能量系统学和顺排相加性来确定, 这样带 A 和带 B 的自旋在文献 [7] 的基础上增加一个单位.

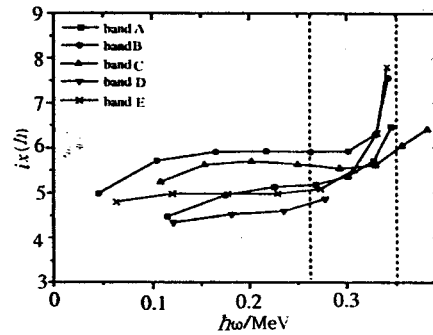


图 2 本实验建立的 5 条转动带的准粒子顺排随转动频率的变化曲线

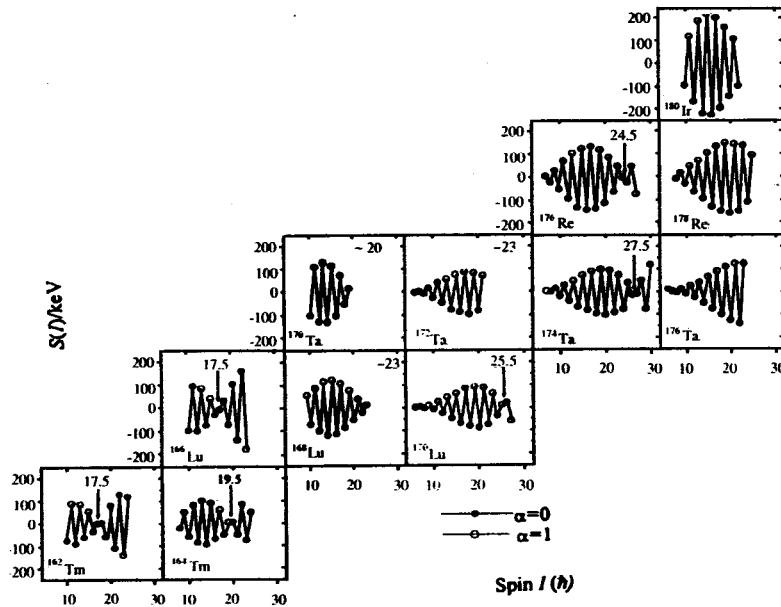


图 3  $A=170$  区 12 个核的  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带  $S(I) = E(I) - E(I-1) - [E(I+1) - E(I-1) - E(I-1) - E(I-2)]/2$  随  $I$  的变化曲线:

$^{162}\text{Tm}^{[1]}$ ,  $^{164}\text{Tm}^{[2]}$ ,  $^{168}\text{Lu}^{[16]}$ ,  $^{170}\text{Lu}^{[4]}$ ,  $^{170}\text{Ta}^{[14]}$ ,  $^{172}\text{Ta}^{[12]}$ ,  $^{174}\text{Ta}^{[3]}$ ,  $^{176}\text{Ta}^{[5]}$ ,  $^{176}\text{Re}^{[6]}$ ,  $^{178}\text{Re}^{[13]}$ ,  $^{180}\text{Ir}^{[17]}$  和  $^{166}\text{Lu}$  (本实验)

为了清楚地反映出  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的旋称反转的系统学特征, 图 3 给出了  $A =$

170 区 12 个核的  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带  $S(I) = E(I) - E(I-1) - [E(I+1) - E(I) + E(I-1) - E(I-2)]/2$  随  $I$  的变化曲线. 从图 3 中可看出 12 个核的  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带均发生了旋称反转, 反转点的自旋随  $N$  的增加而增加, 随  $Z$  的增加而减小. 在图 3 中, 根据能量系统学和顺排相加性<sup>172</sup> Ta<sup>[12]</sup> 和<sup>178</sup> Re<sup>[13]</sup> 的自旋在原来的基础上分别增加了  $1\hbar$  和  $3\hbar$ ,  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的能量系统学见图 4.

三轴形变<sup>[18]</sup>、科里奥利效应<sup>[19-21]</sup>、带交叉和自反转<sup>[22]</sup>及  $p-n$  相互作用<sup>[23]</sup> 在奇奇核中都能够导致旋称反转, 但旋称反转只发生在奇奇核的两准粒子带中以及包含有  $p-n$  相互作用的粒子-转子模型在  $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$  组态带<sup>[24]</sup> 和  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  组态带<sup>[1-3]</sup> 中的成功应用等事实, 表明  $p-n$  相

互作用在解释奇奇核低自旋反转现象中起着很重要的作用. 奇奇核中各组态带的旋称反转规律对于理解上述各种机制的相对重要性起着很重要的作用.

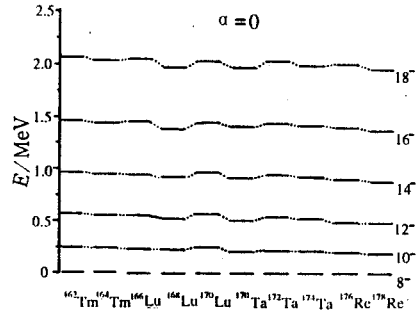


图 4  $A=170$  区  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的能级系统学, 只绘出  $\alpha=0$  分支, 其中以  $8^-$  为能级零点线

## 4 小结

通过束流能量为 97MeV 的<sup>152</sup>Sm(<sup>19</sup>F, 5n)<sup>166</sup>Lu 熔合蒸发反应, 用在束  $\gamma$  (谱学方法研究了<sup>166</sup>Lu 的高自旋态, 建立了 5 条转动带, 其中 3 条带是本实验中首次确定的. 发现了  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^+ [642]$  带的低自旋旋称反转现象, 该带的反转点自旋同  $A=170$  区奇奇核的  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  带的反转点变化趋势非常相符.

## 参考文献(References)

- 1 Espino J M, Hagemann G B, Bearden I G et al. Nucl. Phys. , 1998, A640: 163
- 2 Reviol W, Riedinger L L, WANG X Z et al. Phys. Rev. , 1999, C59: 1351
- 3 Bark R A, Canlsson H, Freeman S J et al. Nucl. Phys. . 1998, A630: 603.
- 4 Levinton G et al. Phys. Rev. , 1999, C60:044309 - 1
- 5 Kondev F G, Dracoulis G D, Byrne A P et al. Nucl. Phys. , 1998, A632:473
- 6 Cardona M A, Kreiner A J, Hojman D et al. Phys. Rev. , 1999, C59:1298
- 7 Hojman D, Kreiner A J, Davidson M et al. Phys. Rev. . 1992, C45:90
- 8 Jonsson S, Lyttkens J, Carlen L et al. Nucl. Phys. , 1984, A442: 397
- 9 YU C H, Hagemann G B, Espino J M et al. Nucl. Phys. , 1990, A511: 157
- 10 Roy N, Jonsson S, Ryde H et al. Nucl. Phys. , 1982, A382:125

- 11 Cromaz M, Degraaf J, Drake T E et al. Phys. Rev. , 1999, C59: 2406
- 12 Kreiner A J, Hojman D, Davidson J et al. Phys. Lett. , 1988, B215: 629
- 13 Kreiner A J, Vanin V R, Beak F A et al. Phys. Rev. , 1989, C40: R487
- 14 ZHANG Y H, ZHANG S Q, ZHAO Q Z et al. Phys. Rev. , 1999, C60: 044311-1
- 15 Jensen H J, Hagemann G B, Tjorn P O et al. Z. Phys. , 1991, A340: 351
- 16 Katoch S K, Gupta S L, Pancholi S C et al. Eur. Phys. J. , 1999, A4: 307
- 17 ZHANG Y H, Hayakaula H, Oshima M et al. Eur. Phys. J. , 1999, A5: 345
- 18 Bengtsson R, Pinston J A, Barneoud D et al. Nucl. Phys. , 1982, A389: 158 1
- 19 Kreiner A J, Mariscotti M A J et al. J. Phys. , 1980, G6: L13
- 20 JAIN A K, Kvasil J, Sheline R K et al. Phys. Lett. , 1988, B209: 19
- 21 HAMAMOTO I. Phys. Lett. , 1990, B235: 221
- 22 Hara K, SUN Y. Nucl. Phys. , 1991, 531: 221
- 23 Semmes P. B , Ragnarsson I. Conf. High Spin Physics and Gamma - Soft Nuclei, Pittsburg, World Scientific, Singapore, 1991. 1990 September. 500; Conf. On Future Directions in Nuclear Physics with 4( Detection Systems of the Generation, Strasbourg, (AIP, New York, 1992) 1991 March. 556
- 24 Tajima N. Nucl. Phys. , 1994, A572: 365

### Systematic Features of $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$ Bands in Doubly-Odd Nuclei \*

ZHAO Guang-Yi<sup>1</sup> LU Jing-Bin<sup>1</sup> MA Ying-Jun<sup>1</sup> YIN Li-Chang<sup>1</sup>  
 LI Xian-Feng<sup>1</sup> LI Zhi-Huan<sup>1</sup> WANG Zhi-Kui<sup>1</sup> WU Xiao-Guang<sup>2</sup>  
 LI Guang-Sheng<sup>2</sup> WEN Shu-Xian<sup>2</sup> YANG Chun-Xiang<sup>2</sup> LIU Yun-Zuo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023, China)

<sup>2</sup> (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract** Five rotational bands with configurations  $\{\pi 7/2^+ [404] \otimes \nu 5/2^+ [642]\} K=6$ ,  $\{\pi 9/2^+ [514] \otimes \nu 5/2^+ [642]\} K=7$ ,  $\{\pi 1/2^+ [411] \otimes \nu 5/2^+ [642]\} K=2$ ,  $\{\pi 1/2^+ [541] \otimes \nu 5/2^+ [642]\} K=2$  and  $\{\pi 5/2^+ [402] \otimes \nu 5/2^+ [642]\} K=5$ , were populated through the  $^{152}\text{Sm}(^{19}\text{F}, 5n)^{166}\text{Lu}$  reaction at a beam energy of 97 MeV. The last three bands are identified in the present study. A phase change of level staggering is observed and low spin signature inversion is suggested in the band  $\{\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^+ [642]\} K=2$ . The inversion spin  $17.5\hbar$  (spin at inversion point) of this band fits well to the systematic variation trend of inversion spin, increasing with  $N$  and decreasing with  $Z$ , for the known  $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu i_{13/2}$  bands observed in odd-odd deformed nuclei around  $A=170$ .

**Key words** high spin states, systematic feature, level scheme