

# <sup>187</sup>Pt 的转动带性质研究\*

邢焯炳<sup>1,2</sup> 周小红<sup>1,2;1)</sup> 张玉虎<sup>1</sup> M. Oshima<sup>3</sup> Y. Toh<sup>3</sup> M. Koizumi<sup>3</sup>  
A. Osa<sup>3</sup> Y. Hatsukawa<sup>3</sup> M. Sugawara<sup>4</sup>

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

3 (Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan)

4 (Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275-0023, Japan)

**摘要** 利用在束 $\gamma$ 谱学技术和<sup>173</sup>Yb(<sup>18</sup>O, 4n)熔合蒸发反应研究了<sup>187</sup>Pt的高自旋态能级结构. 建立了包括3个转动带的<sup>187</sup>Pt高自旋态能级纲图. 基于<sup>187</sup>Pt周围核结构的系统学和比较带内 $B(M1)/B(E2)$ 比率的实验值和理论值, 建议上述3个转动带的组态分别为 $11/2^+[615]$ ,  $7/2^- [503]$ 和 $1/2^- [521]$ . 对各转动带的带交叉频率、顺排增益、旋称劈裂等进行了讨论.

**关键词** 在束 $\gamma$ 谱学 转动带 组态

## 1 引言

缺中子Pt同位素位于过渡核区<sup>[1, 2]</sup>. 在Pt偶-偶核能谱中系统地表现出长椭球和扁椭球、扁椭球和三轴形变的形状共存现象<sup>[3-5]</sup>. 对于 $A \leq 186$ 的Pt偶-偶核, 它们的基态带具有明显的长椭球形变特征<sup>[3-5]</sup>;  $A \geq 188$ 的Pt偶-偶核晕带具有扁椭球形变<sup>[3, 5, 6]</sup>. 因此, <sup>187</sup>Pt核处于Pt同位素链形状变化的转变点上, 其能谱应该具有典型的形状共存特征. Pt缺中子核的势能面普遍对 $\beta$ 和 $\gamma$ 形变相当软, 价核子占据不同的Nilsson轨道对核芯有不同的极化效应<sup>[1, 7]</sup>. 可以预期, <sup>187</sup>Pt核应该表现出非常强的转动带性质组态相关性. 在本研究工作之前, 已报道过<sup>187</sup>Pt核基于 $\nu i_{13/2}^{-1}$ 和 $7/2^- [503]$ 组态的转动带<sup>[2, 8]</sup>. 我们利用在束 $\gamma$ 谱学技术对<sup>187</sup>Pt核的高自旋态能级纲图进行了很大的扩展.

## 2 实验和结果

通过<sup>173</sup>Yb(<sup>18</sup>O, 4n)反应布居了<sup>187</sup>Pt的高自旋激发态. <sup>18</sup>O束流由日本原子力研究所(JAERI)串联加速器提供. 所用靶为2mg/cm<sup>2</sup>厚的<sup>173</sup>Yb同位素靶,

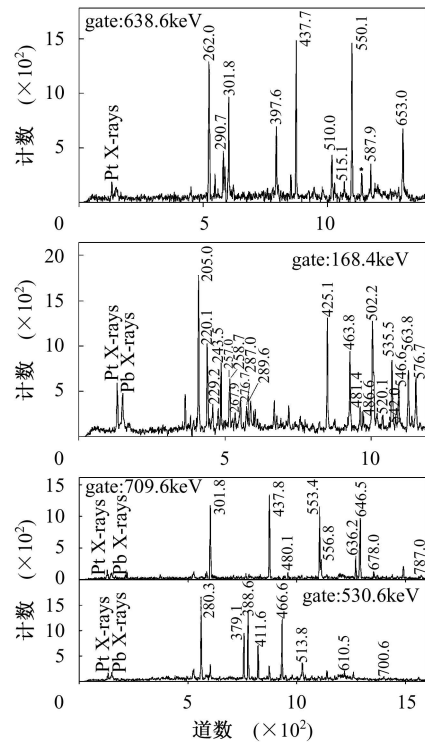


图 1 638.6, 168.4, 709.6和530.6keV  $\gamma$ 射线的符合谱  
符号\*表示玷污.

2006 - 05 - 25 收稿

\* 国家自然科学基金(10505025, 10475097, 10221003), 中国科学院百人计划项目和中国科学院基金资助

1) E-mail: zxx@impcas.ac.cn

靶衬为  $7\text{mg}/\text{cm}^2$  厚铅. 探测器阵列由 14 个带有 BGO 康普顿抑制的高纯锗探测器组成. 各 HPGe 探测器对  $^{60}\text{Co}$  标准放射源  $1332.5\text{keV}$  峰的能量分辨在  $2.0\text{--}2.8\text{keV}$  之间. 在  $78$  和  $85\text{MeV}$  束流能量下进行了长时间的  $\gamma\text{-}\gamma\text{-}t$  符合测量. 这里  $t$  表示在  $\pm 200\text{ns}$  时间范围内任意两条符合的  $\gamma$  射线之间的时间差. 共获取了  $240 \times 10^6$  个符合事件. 在实验前后, 用  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$  和  $^{152}\text{Eu}$  标准放射源对探测器做了能量和相对探测效率刻度. 离线数据处理时, 对各探测器进行精确的增益匹配后, 把这些符合事件整理成一个对称的总矩阵和一个非对称的 DCO 矩阵, 用于分析  $\gamma$  射线之间的符合关系和提取  $\gamma$  跃迁的多极性信息.

基于与  $^{187}\text{Pt}$  已知  $\gamma$  射线的符合<sup>[2, 8, 9]</sup>、 $X\text{-}\gamma$  符合和激发函数测量结果, 指定了源于  $^{187}\text{Pt}$  的新  $\gamma$  射线. 对  $^{187}\text{Pt}$  的每一条  $\gamma$  射线都做了开门谱. 图 1 给出了 4 个典型的开门谱, 用于显示数据质量和符合关系. 根据  $\gamma\text{-}\gamma$  符合关系、 $\gamma$  跃迁强度平衡和交叉跃迁等信息, 本工作建立了  $^{187}\text{Pt}$  的高自旋态能级纲图 (见图 2), 包括 3 个转动带. 在图 2 中,  $\gamma$  跃迁线的粗细代表了其相对强度的大小. 用 DCO 系数确定了  $\gamma$  跃迁的多极性. 在前人的研究工作中<sup>[2, 8]</sup>, 已观测到了带 1 和带 2 自旋值分别为  $29/2^+$  和  $17/2^-$  的能级. 我们的工作对带 1 和带 2 做了很大的扩展, 带头自旋值取自文献 [2, 8]. 带 3 是本工作新发现的.

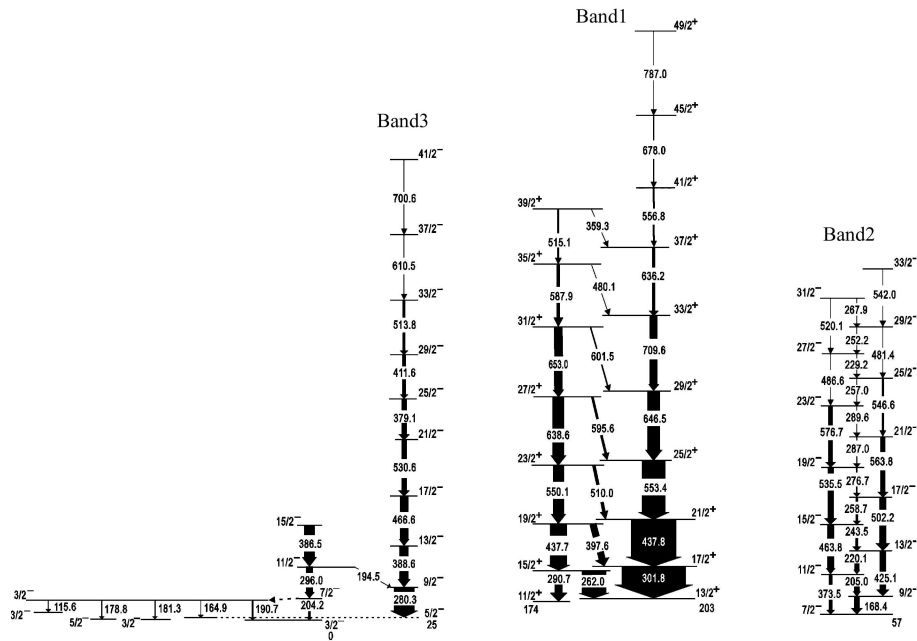


图 2  $^{187}\text{Pt}$  的高自旋态能级纲图

### 3 讨论

为了讨论  $^{187}\text{Pt}$  核转动带的性质, 根据文献 [10] 给出的方法提取了各转动带的 Routhians 和顺排  $i$ , 结果如图 3 所示. 对于带 1, 我们选取 Harris 参数  $J_0 = 23\hbar^2\text{MeV}^{-1}$  和  $J_1 = 40\hbar^4\text{MeV}^{-3}$ . 对于带 2 和带 3, 选取 Harris 参数  $J_0 = 20.5\hbar^2\text{MeV}^{-1}$  和  $J_1 = 80\hbar^4\text{MeV}^{-3}$ .

带 1 布居最强. 基于较重奇  $A$  Pt 核结构的系统性和比较邻近同中子素核  $^{185}\text{Os}$  的  $\nu i_{13/2}$  能带特性<sup>[2, 11]</sup>, 带 1 的组态很可能是  $11/2^+[615](\nu i_{13/2})$ . 该带旋称量子数  $\alpha = 1/2$  的能量优惠分支和  $\alpha = -1/2$  的能量非优惠分支在  $\hbar\omega = 0.30\text{MeV}$  处发生带交叉 (见图 3), 且顺

排增益约为  $7\hbar$ . 根据周围核扁椭圆形变  $\nu i_{13/2}$  带带交叉的系统性<sup>[12]</sup>, 我们认为带 1 的带交叉分别对应于  $\nu i_{13/2}$  中子的 BC 和 AD 顺排. 如图 3 所示, 带 1 存在非常明显的旋称劈裂. 为了清楚地显示该带的旋称劈裂, 定义  $S(I)$ <sup>[13]</sup>:

$$S(I) = [E(I) - E(I-1)] - \frac{1}{2}[E(I+1) - E(I) + E(I-1) - E(I-2)], \quad (1)$$

这里,  $E(I)$  是自旋值为  $I$  的能级能量. 图 4 给出了  $S(I)$  随  $I$  的变化,  $S(I)$  放大了旋称劈裂约 2 倍. 可见, 带 1 的能量旋称劈裂约为  $200\text{keV}$ . 如果带 1 建立在纯的高  $K$   $11/2^+[615](\nu i_{13/2})$  Nilsson 轨道上, 旋称劈裂应该很小. 可能是由于该带具有明显的三轴形变或十六极

形变, 增强了组态中  $\Omega=1/2$  的成分, 从而导致了很大的旋称劈裂<sup>[14]</sup>.

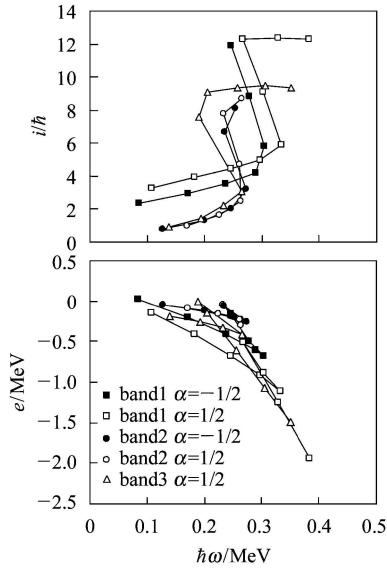


图3  $^{187}\text{Pt}$  转动带的顺排和Routhian能量

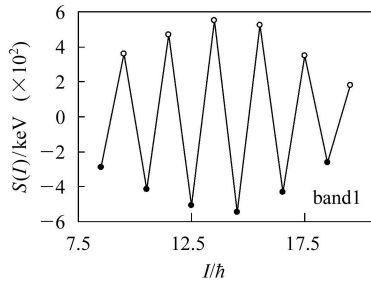


图4 转动带  $I$  的旋称劈裂

在  $^{187}\text{Pt}$  的周围核中系统地观测到了类似带2的强耦合带<sup>[1, 7]</sup>. 带2可能基于长椭圆变形的  $7/2^- [503] (\nu f_{7/2})$  或  $7/2^- [514] (\nu h_{9/2})$  组态. 对于强耦合带, 比较实验和理论  $B(M1)/B(E2)$  比率能够提供组态和顺排准粒子的重要信息.  $B(M1)/B(E2)$  比率的实验值为<sup>[15]</sup>

$$\frac{B(M1; I \rightarrow I-1)}{B(E2; I \rightarrow I-2)} = 0.697 \frac{[E_\gamma(I \rightarrow I-2)]^5}{[E_\gamma(I \rightarrow I-1)]^3} \times \frac{1}{\lambda} \frac{1}{1 + \delta^2} \left( \frac{\mu_N^2}{e^2 b^2} \right), \quad (2)$$

这里,  $\lambda$  是退激自旋值为  $I$  的能级的  $\Delta I=2$  和  $\Delta I=1$   $\gamma$  射线的强度比;  $\delta$  是  $\Delta I=1$  跃迁的  $E2/M1$  混合比;  $E_\gamma(I \rightarrow I-2)$  和  $E_\gamma(I \rightarrow I-1)$  分别是  $\Delta I=2$  和  $\Delta I=1$  跃迁的能量. 混合比  $\delta$  对  $B(M1)/B(E2)$  比率影响很小, 一般取  $\delta=0.0$ .  $B(M1)/B(E2)$  比率理论值从以下

的半经典公式获得<sup>[16, 17]</sup>

$$\frac{B(M1; I \rightarrow I-1)}{B(E2; I \rightarrow I-2)} = \frac{12}{5Q_0^2 \cos^2(\gamma + 30^\circ)} \times \left[ 1 - \frac{K^2}{(I-1/2)^2} \right]^{-2} \frac{K^2}{I^2} \{ (g_1 - g_R) [(I^2 - K^2)^{1/2} - i_1] - (g_2 - g_R) i_2 \}^2 \left( \frac{\mu_N^2}{e^2 b^2} \right), \quad (3)$$

式中下标1和2分别指强耦合和顺排准粒子, 各个参数的详细说明见参考文献[18]. 根据图5取  $i_1=0\hbar$ ,  $i_2=7\hbar$ .  $K=3.5$ ,  $Q_0=5.7\text{e}\cdot\text{b}^{[11]}$ . 假定  $\gamma=0^\circ$ , 图5比较了带2的  $B(M1)/B(E2)$  实验值与基于  $7/2^- [503] (\nu f_{7/2})$  和  $7/2^- [514] (\nu h_{9/2})$  组态的理论值.  $7/2^- [503] (\nu f_{7/2})$  和  $7/2^- [514] (\nu h_{9/2})$  组态的  $g_1 - g_R$  值取自文献[11, 14]. 从图5可见, 带2应该基于  $7/2^- [503] (\nu f_{7/2})$  组态. 图3显示该带在  $\hbar\omega=0.25\text{MeV}$  处发生带交叉, 顺排增益至少是  $6\hbar$ . 在  $^{187}\text{Pt}$  周围的长椭圆形变核中<sup>[1, 7]</sup>, 一对  $i_{13/2}$  中子或一对  $h_{9/2}$  质子最容易拆对顺排. 图5比较了带2在高转动频率区  $B(M1)/B(E2)$  的实验值与  $i_{13/2}$  中子和  $h_{9/2}$  质子顺排的理论值, 顺排  $i_{13/2}$  中子和  $h_{9/2}$  质子的  $g_2 - g_R$  值取自文献[14]. 实验  $B(M1)/B(E2)$  值支持  $h_{9/2}$  质子顺排. 基于以上讨论, 我们认为带2是建立在  $7/2^- [503] (\nu f_{7/2})$  组态之上, 并在  $\hbar\omega=0.25\text{MeV}$  处一对  $h_{9/2}$  质子拆对顺排.

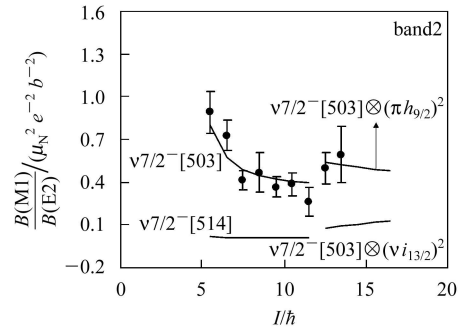


图5 带2的  $B(M1)/B(E2)$  实验值和理论值比较

带3具有典型的退耦合带特征, 其应该基于  $\Omega=1/2$  的 Nilsson 轨道. 考虑到带3的能级间隔非常类似于较轻奇  $A$  Pt 核中长椭圆变的  $1/2^- [521] (\nu p_{3/2})$  转动带<sup>[1, 7]</sup>, 我们认为该带很可能建立在  $1/2^- [521]$  Nilsson 轨道上. 带3在  $\hbar\omega=0.22\text{MeV}$  处发生带交叉, 顺排增益为  $7\hbar$ . 该带交叉频率非常接近较轻奇  $A$  Pt 核中  $1/2^- [521]$  转动带的带交叉频率<sup>[1, 7]</sup>. 因此, 带3的带交叉可能是中子  $AB (\nu i_{13/2})$  顺排引起的, 但不能排除  $h_{9/2}$  质子顺排.

## 4 结论

本工作利用在束 $\gamma$ 谱学技术和 $^{173}\text{Yb}(^{18}\text{O}, 4n)$ 反应研究了 $^{187}\text{Pt}$ 的高自旋态,建立了包括3个转动带的

$^{187}\text{Pt}$ 高自旋态能级纲图. 基于 $^{187}\text{Pt}$ 周围核结构的系统性和比较带内 $B(M1)/B(E2)$ 比率的实验值和理论值,建议了各转动带的组态. 讨论了各转动带的带交叉频率、顺排增益、旋称劈裂等. 下一步将要结合理论计算深入探讨 $^{187}\text{Pt}$ 核的结构特性.

## 参考文献(References)

- 1 Pilotte S, Kajrys G, Monaro S et al. Phys. Rev., 1989, **C40**: 610
- 2 Piiparinen M, Cunnane J C, Daly P J et al. Phys. Rev. Lett., 1975, **34**: 1110
- 3 Richter L, Backe H, Welk F et al. Nucl. Phys., 1979, **A319**: 221
- 4 Hebbinghaus G, Kutsarova T, Gast W et al. Nucl. Phys., 1990, **A514**: 225
- 5 Carpenter M P, Bingham C R, Courtney L H et al. Nucl. Phys., 1990, **A513**: 125
- 6 Hjorth S A, Johnson A, Lindblad Th et al. Nucl. Phys., 1976, **A262**: 328
- 7 Nyberg J, Johnson A, Carpenter M P et al. Nucl. Phys., 1990, **A511**: 92
- 8 Abreu M C, Oms J et al. Univ. Paris, Inst. Phys. Nucl., 1986, E22
- 9 Roussi re B, Kilcher P, Le Blanc F et al. Nucl. Phys., 1992, **A548**: 227
- 10 Bengtsson R, Frauendorf S. Nucl. Phys., 1979, **A327**: 139
- 11 Shizuma T, Mitarai S, Sletten G et al. Phys. Rev., 2004, **C69**: 024305
- 12 Kutsarova T, Sch uck C, Gueorguieva E et al. Eur. Phys. J., 2005, **A23**: 69
- 13 ZHANG Y H, Hayakawa T, Oshima M et al. Phys. Rev., 2002, **C65**: 014302
- 14 De Voigt M J A, Kaczarowski R, Riezebos H J et al. Nucl. Phys., 1990, **A507**: 447
- 15 Juutinen S, Ahonen P, Hattula J et al. Nucl. Phys., 1991, **A526**: 346
- 16 D onau F, Frauendorf S. Proc. Conf. on High Angular Momentum Properties of Nuclei, Oak Ridge, 1982. Ed Johnson N R. New York: Harwood Academic, 1983. 143
- 17 Larabee A J, Courtney L H, Frauendorf S et al. Phys. Rev., 1984, **C29**: 1934
- 18 ZHOU X H, Oshima M, XU F R et al. Eur. Phys. J., 2004, **A19**: 11

## Quasiparticle Nature of Rotational Bands in $^{187}\text{Pt}$ \*

XING Ye-Bing<sup>1,2</sup> ZHOU Xiao-Hong<sup>1,2;1)</sup> ZHANG Yu-Hu<sup>1</sup> M. Oshima<sup>3</sup> Y. Toh<sup>3</sup>

M. Koizumi<sup>3</sup> A. Osa<sup>3</sup> Y. Hatsukawa<sup>3</sup> M. Sugawara<sup>4</sup>

1 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

2 (Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

3 (Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan)

4 (Chiba Institute of Technology, Narashino, Chiba 275-0023, Japan)

**Abstract** The high-spin states in  $^{187}\text{Pt}$  have been studied experimentally by means of in-beam  $\gamma$ -ray spectroscopy techniques via the  $^{173}\text{Yb}(^{18}\text{O}, 4n)$  fusion-evaporation reaction. The high-spin level scheme of  $^{187}\text{Pt}$  has been established, including three rotational bands. Based on the systematics of level structure in neighboring nuclei and by comparing the experimental and theoretical  $B(M1)/B(E2)$  ratios, configurations of  $11/2^+$  [615],  $7/2^-$  [503] and  $1/2^-$  [521] have been proposed for the three rotational bands, respectively. Band properties of band crossing frequency, alignment gain and signature splitting have been discussed.

**Key words** in-beam  $\gamma$ -ray spectroscopy, rotational band, configuration

Received 25 May 2006

\* Supported by National Natural Sciences Foundation of China (10505025,10475097,10221003), 100 Talents Programme of the Chinese Academy of Sciences and Science Foundation of the Chinese Academy of Sciences

1) E-mail: zzh@impcas.ac.cn