

# 179,183 Au核1/2[660]转动带结构研究\*

宋立涛<sup>1,2;1)</sup> 周小红<sup>1</sup> 张玉虎<sup>1</sup> 郭应祥<sup>1</sup> 孙志宇<sup>1</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)

**摘要** 通过重离子核反应  $^{149}\text{Sm}(^{35}\text{Cl}, 5n)^{179}\text{Au}$  和  $^{159}\text{Tb}(^{29}\text{Si}, 5n)^{183}\text{Au}$  研究了  $^{179,183}\text{Au}$  的高自旋态. 首次建立了  $^{179}\text{Au}$  的  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  转动带和  $^{183}\text{Au}$  的  $\pi i_{13/2}$  转动带的能量非优先带. 结合已有的实验数据, 讨论了奇  $A$  Au 核中  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  转动带的形变随中子数的变化.

**关键词** 高自旋态 转动带 能级纲图

## 1 引言

在Pt-Au-Hg核区, 由于质子数靠近  $Z=82$  的幻数, 原子核的能级结构表现出普遍的形状共存现象. 研究表明, 此核区核实外部的准粒子激发对核的形状影响很大, 重要的形状驱动轨道来自于  $\pi h_{9/2}$  和  $\pi i_{13/2}$  质子支壳<sup>[1-4]</sup>. 奇  $A$  Au核的高自旋态已经得到广泛研究, 为研究转动带结构随中子数变化提供了重要的实验数据.  $A > 187$  的奇  $A$  Au核的低位能级结构呈现典型的单粒子激发特征, 但随激发能和角动量的增加实验上观测到了集体运动的转动带结构<sup>[5-9]</sup>. 在  $179 < A < 189$  较轻的奇  $A$  Au核中, 长椭球形状和扁椭球形状的转动带结构共存, 实验上系统性地观测到了基于侵入组态  $1/2[541](\pi h_{9/2})$  和  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  的退耦合带<sup>[4,10,11]</sup>. 在非常缺中子的  $^{177}\text{Au}$  和  $^{175}\text{Au}$  核中, 随激发能或角动量的增加, 核形状逐渐由扁椭球演变为长椭球, 观测到了布居很强的  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  的退耦合带<sup>[11]</sup>. 本工作的目的是寻找  $^{179}\text{Au}$  核中  $1/2[541](\pi h_{9/2})$  和  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  退耦合带, 并研究这些转动带结构随中子数的变化关系.  $^{183}\text{Au}$  的实验数据来自本实验小组对  $^{184}\text{Au}$  的实验研究的副产物分析; 由于数据的统计量和质量都很高, 使能够更新  $^{183}\text{Au}$  已有的能级纲图.

## 2 实验

$^{179}\text{Au}$  的实验是在日本原子力研究所(JAERI)串列加速器实验室完成的. 详细的实验细节见文献[12].

$^{183}\text{Au}$  的实验在意大利LNL-INFN串列静电加速器实验室完成. 用加速器提供的  $^{29}\text{Si}$  束流轰击  $^{159}\text{Tb}$  金属靶, 产生处于高自旋态的  $^{183}\text{Au}$  核. 靶的质量厚度为  $2\text{mg}/\text{cm}^2$ , 并衬有约  $5\text{mg}/\text{cm}^2$  厚的Au衬. 用40个带有BGO反康普顿抑制的高纯锗探测器和80个BGO探测单元构成的探测器阵列GASP进行了在束  $\gamma$  测量. 本实验在140MeV的束流能量下进行了  $\gamma$  射线符合测量. 实验中要求至少有3个高纯锗和2个BGO探测器同时点火. 在此符合条件下, 记录高纯锗探测器探测到的  $\gamma$  射线的能量和相对时间, BGO探测到的  $\gamma$  射线总能量和多重性. 实验中共获取了大约  $250 \times 10^6$  个符合事件. 在离线数据处理时, 将高纯锗探测器记录到的  $\gamma$  射线的能量信息反演成2维和3维对称化矩阵及DCO矩阵, 用于分析  $\gamma$  射线的符合关系和跃迁多极性.

## 3 结果与讨论

本工作之前,  $^{179}\text{Au}$  的高自旋谱学信息是空白的. 利用与Au的特征KX射线的符合关系及奇质量数Au核能级结构的系统性, 并结合激发函数的分析指定了  $^{179}\text{Au}$  的  $\gamma$  射线. 图1给出了束流能量分别为164和180MeV时符合矩阵的部分总投影谱. 由图中可以看到145.0和261.5keV跃迁的相对产额与来自  $^{179}\text{Pt}$  (来自  $^{149}\text{Sm}(^{35}\text{Cl}, 1p4n)^{179}\text{Pt}$  反应) 和  $^{176}\text{Os}$  (来自  $^{149}\text{Sm}(^{35}\text{Cl}, \alpha 1p3n)^{176}\text{Os}$  反应) 的  $\gamma$  跃迁具有相似的变化趋势. 这表明145.0和261.5keV跃迁应来

\* 国家自然科学基金(10005012,10025525)和国家重点基础研究发展规划项目(G2000077400)资助

1) E-mail: songlt12@yahoo.com.cn, songlt@impcas.ac.cn

自于蒸发5个粒子的反应道. 利用这两条射线的开窗谱, 结合与Au的特征KX射线的符合关系, 经过对 $\gamma$ 射线之间符合关系的仔细分析及考虑到强度平衡, 建议了图2所示的能级纲图.

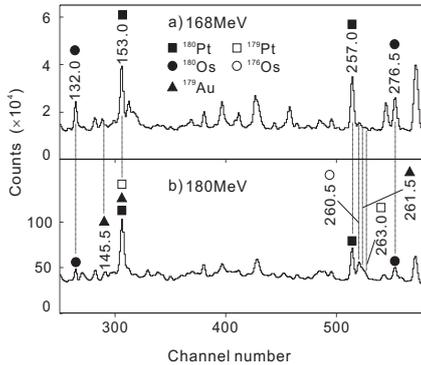


图 1 束流能量为168和180MeV时的部分总投影谱

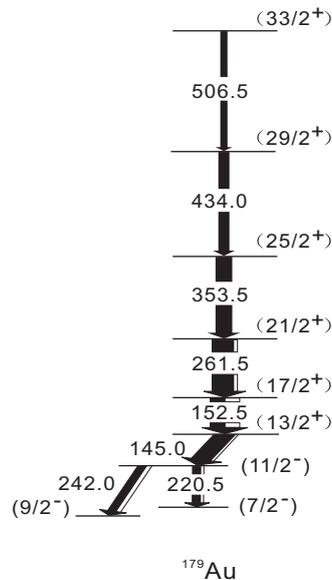


图 2  $^{179}\text{Au}$  的能级纲图

基于强度平衡和奇  $A$  Au核能级结构的系统性建议了 $^{179}\text{Au}$ 相关 $\gamma$ 跃迁的多极性. 在353.5keV  $\gamma$ 射线的开窗谱中, 152.5和261.5keV跃迁的强度应一样. 根据奇质量数Au核能级结构的系统性分析, 假定能量较高的261.5keV跃迁为E2跃迁, 其内转换系数的理论值约为0.157, 这样由强度平衡可得到152.5keV跃迁的内转换系数约为0.9. 不同极性的152.5keV跃迁的内转换系数的理论值分别为: 0.143(E1), 0.99(E2), 2.24(M1). 因此, 建议152.5keV跃迁应为E2跃迁. 同样的分析建议145.0keV跃迁为E1跃迁. 比较 $^{185}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$ ,  $^{181}\text{Au}$ 和 $^{179}\text{Au}$ 的能级纲图<sup>[4,10]</sup>, 可以看到本工作建立的 $^{179}\text{Au}$ 的转动带及其带头的退激模式与 $^{185}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$ ,  $^{181}\text{Au}$ 中 $\pi i_{13/2}$ 转动带的系统性符

合得非常好. 基于以上考虑, 我们建议了能级纲图中能级的自旋与宇称值.

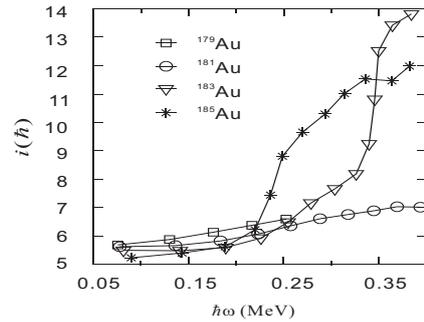


图 3  $^{185,183,181,179}\text{Au}$  中 $\pi i_{13/2}$ 转动带的角动量顺排

图3比较了 $^{185,183,181,179}\text{Au}$ 中 $\pi i_{13/2}$ 转动带的角动量顺排. 计算中所用Harris参数为 $J_0 = 29.4\hbar^2/\text{MeV}$ ,  $J_1 = 121\hbar^4/\text{MeV}^3$ <sup>[4]</sup>. 由图中可以看出, 新发现的转动带的角动量顺排和 $^{185,183,181}\text{Au}$ 的 $\pi i_{13/2}$ 转动带的角动量顺排系统性符合得很好. 外推到 $\hbar\epsilon = 0$ 时, 这条转动带的角动量顺排约为 $5.5\hbar$ . 接近 $^{179}\text{Au}$ 的质子费米面并且能提供如此大角动量顺排的唯一轨道是 $1/2[660](\pi i_{13/2})$ , 这有力地支持对这条转动带组态的指定.

本工作之前, W. F. Mueller等人对 $^{183}\text{Au}$ 的高自旋态已经进行过详细的研究和讨论<sup>[4]</sup>. 新发现了12条 $\gamma$ 射线和7个能级, 建立了一个新的转动带. 图4是本工作建议的能级纲图. 除了新发现的转动带(Band 5), 纲图中最大的不同发生在Band 2. 我们没有看到552,590和625keV 3条 $\gamma$ 射线<sup>[4]</sup>, 但发现了能量为573.4,624.5和646.4keV的3条新 $\gamma$ 跃迁.

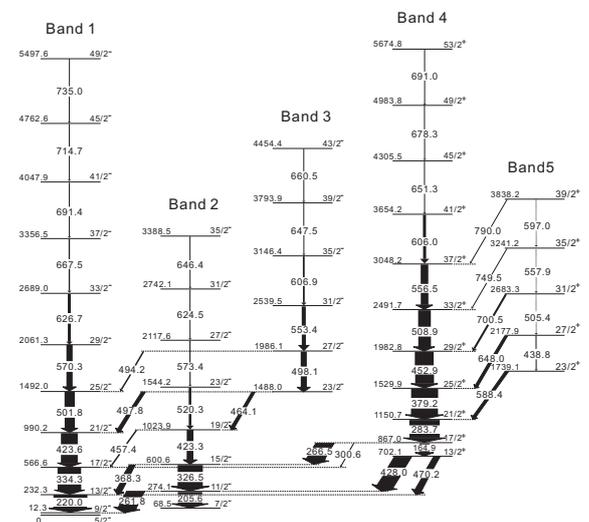


图 4  $^{183}\text{Au}$  的能级纲图

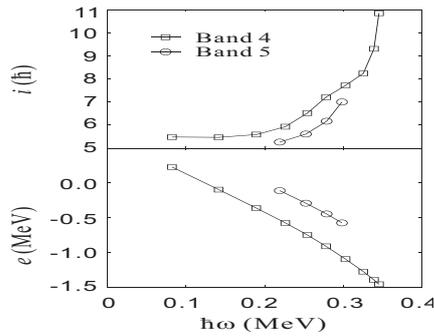


图5  $^{184}\text{Au}$  中Band 4和Band 5的准粒子角动量顺排和Routhian

Band 5能级自旋的指定主要基于DCO比率. 实验数据提取的DCO比率表明588.4和648.0keV两条 $\gamma$ 跃迁倾向于偶极跃迁, 由此我们建议Band 5中1739.1和2177.9keV两条能级的自旋值分别为23/2和27/2; 更高位能级的自旋值根据Band 5是一退耦合带的假定而建议. 图5比较了 $^{183}\text{Au}$  中Band 4和Band 5的角动量顺排和Routhian的实验值. 从顺排图中可以看出Band 5和Band 4相比, 在实验

观测到的转动频率范围内顺排值恰好相差约 $1\hbar$ . Band 4被指定为 $\pi i_{13/2}$ 转动带的能量优先带. 因此建议Band 5为 $\pi i_{13/2}$ 转动带的能量非优先带. 进一步考察Routhian图, Band 4和Band 5的能量劈裂在500keV左右, 和 $^{181}\text{Au}$ 中 $\pi i_{13/2}$ 转动带的能量劈裂值(约500keV)相近. 支持对Band 5组态的指定.

比较奇A Au核1/2[660] ( $\pi i_{13/2}$ ) 转动带相应能级间的能级间隔<sup>[4,10,11]</sup>, 可以看到能级间隔在 $^{177}\text{Au}$ 和 $^{179}\text{Au}$ 中变的最小. 这表明1/2[660] ( $\pi i_{13/2}$ ) 转动带在 $^{177}\text{Au}$ 和 $^{179}\text{Au}$ 中有最大的形变. F. G. Kondev等人在文献<sup>[11]</sup>中对奇A Au核的1/2[660] ( $\pi i_{13/2}$ ) 转动带进行了VMI(variable moment of inertia)拟合, 并由拟合结果结合经验公式计算了转动带的形变. 所得到的结果和TRS(total Routhian surface)预言矛盾, TRS预言最大形变出现在质子闭壳的中部. Kondev等人认为由于核的形变在中子数为98的地方出现了一个子壳隙, 子壳隙的出现加强了低 $\Omega i_{13/2}$ 中子轨道和低 $\Omega h_{9/2}$ 质子轨道的布居几率. 这个子壳隙可以从Nilsson能级图中看到. 这一观点可定性的对实验结果进行解释.

## 参考文献(References)

- Heyde K et al. Phys. Reports., 1983, **102**: 291
- Wood J L et al. Phys. Reports., 1992, **215**: 101
- Lane G J et al. Nucl. Phys., 1995, **A586**: 316
- Mueller W F et al. Phys. Rev., 1999, **C59**: 2009
- Gono Y, Lieder R M et al. Nucl. Phys., 1979, **A327**: 269
- Zganjar E F et al. Phys. Lett., 1975, **B58**: 159
- Gono Y et al. Phys. Lett., 1977, **B70**: 159
- Venkova Ts et al. Z. Phys., 1992, **A344**: 232
- Perrin N et al. Z. Phys., 1993, **A347**: 81
- Larabee A J et al. Phys. Lett., 1986, **B169**: 21
- Kondev F G et al. Phys. Lett., 2001, **B512**: 268
- SONG Li-Tao et al. HEP & NP, 2004, **28**(2): 148 (in Chinese)
- 宋立涛等. 高能物理与核物理, 2004, **28**(2): 148

## Study of the 1/2[660] Rotational Band in $^{179,183}\text{Au}$ \*

SONG Li-Tao<sup>1,2,1)</sup> ZHOU Xiao-Hong<sup>1</sup> ZHANG Yu-Hu<sup>1</sup> GUO Ying-Xiang<sup>1</sup> SUN Zhi-Yu<sup>1</sup>

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

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

**Abstract** High-spin states in  $^{179,183}\text{Au}$  have been studied experimentally using the  $^{149}\text{Sm} (^{35}\text{Cl}, 5n)$   $^{179}\text{Au}$  and  $^{159}\text{Tb} (^{29}\text{Si}, 5n)$   $^{183}\text{Au}$  heavy-ion reactions, respectively. The 1/2[660] ( $\pi i_{13/2}$ ) rotational band has been established for the first time in  $^{179}\text{Au}$ . A rotational band proposed as the unfavored signature branch of the  $\pi i_{13/2}$  band has been newly observed in  $^{183}\text{Au}$ . Properties of the 1/2[660] ( $\pi i_{13/2}$ ) band in odd- A Au nuclei are discussed with an emphasis on the evolution of deformation while changing the neutron number.

**Key words** high spin state, rotational band, level scheme

\* Supported by NSFC(10005012, 10025525) and Major State Basic Research Development Program(G2000077400)

1) E-mail: songlt12@yahoo.com.cn or songlt@impcas.ac.cn