

# $^{179}\text{Au}$ 的 $1/2[660](\pi i_{13/2})$ 转动带\*

宋立涛<sup>1</sup> 周小红<sup>1;1)</sup> 郭应祥<sup>1</sup> 孙志宇<sup>1</sup> M. Oshima<sup>2</sup> T. Toh<sup>2</sup> A. Osa<sup>2</sup>  
M. Koizumi<sup>2</sup> J. Katakura<sup>2</sup> Y. Hatsukawa<sup>2</sup> M. Matsuda<sup>2</sup> M. Sugawara<sup>3</sup>

1 (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

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

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

**摘要** 利用能量为 164—180MeV 的  $^{35}\text{Cl}$  束流,通过重离子核反应  $^{149}\text{Sm}(^{35}\text{Cl}, 5n)$  研究了  $^{179}\text{Au}$  的高自旋态能级结构. 实验进行了  $\gamma$  射线的激发函数、X- $\gamma$  和  $\gamma$ - $\gamma$ - $t$  符合测量. 基于对实验测量结果的分析,首次建立了  $^{179}\text{Au}$  的  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  转动带. 结合已有的实验数据,着重讨论了奇  $A$  Au 核中  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  转动带的带头激发能随中子数的变化.

**关键词** 在束  $\gamma$  谱学 转动带 能级纲图

## 1 引言

由于质子数靠近  $Z = 82$  的幻数,奇  $A$  Au 核的能级结构表现出普遍的形状共存现象和强烈的中子数相关性.  $A > 187$  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>[1-5]</sup>. 随着中子数的减少,长椭球形变的能量极小变得愈来愈低. 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>[6-8]</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>[8]</sup>. 在  $^{173}\text{Au}$  中,实验未观测到集体运动的转动带结构<sup>[8]</sup>. 理论计算表明,在 Au—Hg—Tl 核区,长椭球形变的稳定性与高角动量  $\pi h_{9/2}$  和  $\pi i_{13/2}$  单粒子轨道的特性密切相关<sup>[7,9,10]</sup>. 本实验的目的是寻找  $^{179}\text{Au}$  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.

## 2 实验

实验是在日本原子力研究所(JAERI)串列加速器实验室完成的. 用加速器提供的  $^{35}\text{Cl}$  束流轰击  $^{149}\text{Sm}$  同位素靶,产生处于高自旋激发态的  $^{179}\text{Au}$  核.  $^{149}\text{Sm}$  靶质量厚度约为  $1.5\text{mg}/\text{cm}^2$ ,靶的后面蒸上了约  $5\text{mg}/\text{cm}^2$  厚的铅衬. 实验首先进行了  $\gamma$  射线的激发函数测量,然后在 180MeV 束流能量下进行了长时间的  $\gamma$ - $\gamma$ - $t$  符合测量,这里  $t$  是符合的两条  $\gamma$  射线到达探测器的相对时间差,符合窗为 200ns. 在 X- $\gamma$  和  $\gamma$ - $\gamma$  符合测量时,使用了 13 台 BGO(AC)HPGe 探测器和 3 台用于测量低能  $\gamma$  射线的 LOAX 探测器. 它们分别放置于与束流方向成  $90^\circ$  (2 个),  $\pm 72^\circ$  (6 个),  $\pm 35^\circ$  (8 个)的位置上. 括号中的数值为各个角度处探测器的数目. 各探测器对  $^{60}\text{Co}$  标准放射源 1332.5keV 峰的能量分辨在 2.0—2.7keV 之间.  $\gamma$ - $\gamma$  符合数据以事件方式记录到数据文件中,共获取了约  $250 \times 10^6$  个符合事件. 在离线数据处理时,对各

2003-06-25 收稿

\* 国家自然科学基金(10005012,10025525),国家重点基础研究发展规划(TG2000077400)资助

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

个探测器进行增益匹配,然后将  $\gamma$ - $\gamma$  符合数据分类反演成带有不同时间条件的符合矩阵. 在实验开始前和结束后,利用  $^{152}\text{Eu}$  和  $^{133}\text{Ba}$  标准放射源对探测器做了能量和相对探测效率刻度.

### 3 结果与讨论

在本工作之前,  $^{179}\text{Au}$  的谱学信息是空白的. 由于激发函数测量得到  $^{179}\text{Au}$  的  $\gamma$  射线统计量很小,不能用基于激发函数的测量结果识别来自  $^{179}\text{Au}$  的  $\gamma$  跃迁. 我们利用与 Au 的特征 Kx 射线的符合关系以及奇质量数 Au 核能级结构的系统性指定了  $^{179}\text{Au}$  的  $\gamma$  射线. 图 1 给出了 145keV  $\gamma$  射线的开窗谱. 该谱中的所有  $\gamma$  射线都与 Au 的特征 X 射线符合. 仔细地分析  $\gamma$  射线之间的符合关系及考虑到强度平衡,建议了图 2 所示的能级纲图. 在纲图中,箭头的宽度代表了跃迁的相对强度,其中空白部分代表了估计的内转换强度.

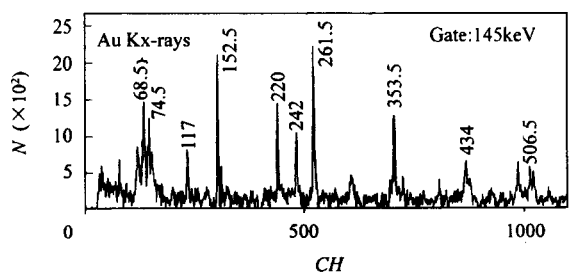


图 1 145keV  $\gamma$  射线的开窗谱(峰位值单位为 keV)

由于裂变的竞争和探测器布局的影响(在  $90^\circ$  方向仅放置了两个探测器),本工作不能提取感兴趣的  $\gamma$  跃迁可靠的 ADO 系数<sup>[11,12]</sup> 和 DCO 比率<sup>[13]</sup>. 我们基于强度平衡和奇 A Au 核能级结构的系统性建议了相关  $\gamma$  跃迁的多极性. 在 354keV  $\gamma$  射线的开窗谱中,153 和 262keV 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 262keV 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 153keV 跃迁的内转换系数约为 0.9. 不同极性的 153keV 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 153keV 跃迁应为 E2 跃迁. 对于 145keV 的跃迁,用在能级纲图中位于其位置上面和下面的跃迁开窗所得相对强度相差非常悬殊. 基于强度平衡的分析,我们认为  $^{179}\text{Au}$   $13/2^+$  激发态除了退激到  $11/2^-$  能态外,还应有其他较强的退激分支,但实验没有观察到. 这样不能用位于其上面的

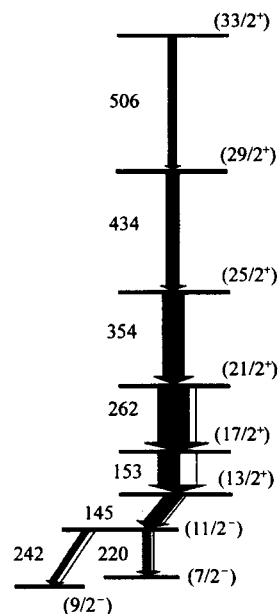


图 2  $^{179}\text{Au}$  的能级纲图

跃迁开窗提取这条跃迁的内转换系数. 如果假定蒸发余核直接布居到  $13/2^+$  能态的核反应可忽略,则在 220keV  $\gamma$  跃迁的开窗谱中,145 和 153keV  $\gamma$  跃迁的强度应一样,这样得到 145keV 跃迁的内转换系数非常小,因此认为该跃迁应为 E1 跃迁. 图 3 比较了  $^{185}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$ ,  $^{181}\text{Au}$  和  $^{179}\text{Au}$  的部分能级纲图. 可见,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很好. 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.

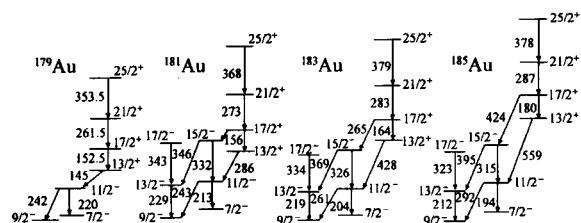


图 3  $^{185}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$ ,  $^{181}\text{Au}$  和  $^{179}\text{Au}$  的部分能级纲图的比较

与周围奇质量数同位素相比,本工作得到的来自  $^{179}\text{Au}$  的  $\gamma$  跃迁较少,只找到了 8 条. 我们认为主要有以下两个原因:由于裂变非常强,使得  $^{179}\text{Au}$  的产额很小;在  $^{179}\text{Au}$  中其他转动带能级远离晕线. 实验数据表明,当角动量较高时,发现  $^{185,183,181}\text{Au}$  中的  $\pi h_{9/2}$  和  $\pi f_{7/2}$  转动带能级随中子数的减少逐步远离晕线. 以  $\pi h_{9/2}$  转动带为例,从图 3 可见  $^{185}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$  和  $^{181}\text{Au}$  的  $13/2^+$  到  $11/2^-$  的跃迁能量分别是 559, 428 和 286keV,随中子数减少依次递减 130—140keV. 这

条跃迁在  $^{179}\text{Au}$  中是 145keV. 这样, 在  $^{179}\text{Au}$  中  $\pi h_{9/2}$  转动带离晕线很远. 在重离子融合蒸发反应中布居的主要是近晕态能级. 因而, 本工作仅观测到了  $^{179}\text{Au}$  的  $\pi i_{13/2}$  转动带.

图 4 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  $J_0 = 29.4 \hbar^2/\text{MeV}^3$ ,  $J_1 = 121 \hbar^4/\text{MeV}^{[7]}$ . 由图中可以看出, 新发现的  $^{179}\text{Au}$  的转动带角动量顺排和  $^{185,183,181}\text{Au}$  的  $\pi i_{13/2}$  转动带角动量顺排系统性符合得很好. 外推到  $\hbar\omega = 0$  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惟一轨道是  $1/2[660](\pi i_{13/2})$ .

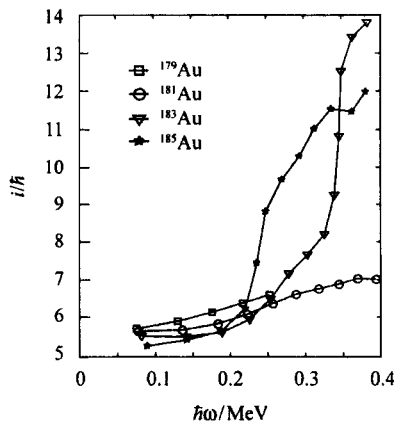


图 4  $^{185,183,181,179}\text{Au}$  中  $\pi i_{13/2}$  转动带的角动量顺排

本工作未能确定  $^{179}\text{Au}$  的基态, 因而不能提取  $\pi i_{13/2}$  转动带的带头能量, 但可以对其下限做出估计.

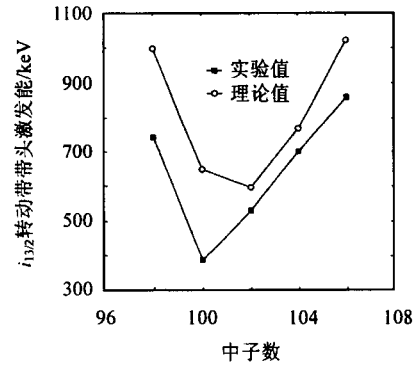


图 5  $^{185,183,181,179,177}\text{Au}$   $\pi i_{13/2}$  转动带带头能量的理论计算值和实验值随中子数的变化

图 5 给出了  $^{185}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$ ,  $^{181}\text{Au}$ ,  $^{179}\text{Au}$  和  $^{177}\text{Au}$  中  $\pi i_{13/2}$  转动带带头能量的理论计算值<sup>[7]</sup>和实验值<sup>[7,8]</sup>相对于中子数的变化曲线. 其中  $^{179}\text{Au}$  和  $^{177}\text{Au}$  给出的是带头能量的下限(分别是相对于  $9/2^-$  和  $5/2^+$  能级的能级差). 理论计算表明,  $\pi i_{13/2}$  转动带的带头能量在  $N = 102$  时达到最小值.  $^{179}\text{Au}$ ,  $^{181}\text{Au}$ ,  $^{183}\text{Au}$ ,  $^{185}\text{Au}$  的基态被指定为  $\pi h_{9/2}$  转动带  $J^\pi = 5/2^-$  的能级<sup>[8]</sup>. 在  $^{183}\text{Au}$  和  $^{185}\text{Au}$  中,  $\pi h_{9/2}$  转动带的  $9/2^-$  与  $5/2^-$  能级的间隔分别是 8.9keV 和 12keV. 根据奇  $A$  Au 核能级结构的系统性, 我们认为本工作观测到的能量最低的能级应该是  $^{179}\text{Au}$   $\pi h_{9/2}$  转动带的  $9/2^-$  能级, 并且该能级与  $5/2^-$  基态的能量间隔应很小. 因此, 实验数据表明当  $N = 100$  时,  $\pi i_{13/2}$  转动带的带头能量最低, 这与理论计算不一致, 需要对理论计算进一步改进.

## 参考文献 (References)

- Gono Y, Lieder R M et al. Nucl. Phys., 1979, **A327**:269
- Zganjar E F et al. Phys. Lett., 1975, **B58**:159
- Gono Y, Lieder R M et al. Phys. Lett., 1977, **B70**:159
- Venkova Ts, Marti G V, Lieder R M et al. Z. Phys., 1992, **A344**:232
- Perrin N, Korichi A, Bourgeois C et al. Z. Phys., 1993, **A347**:81
- Larabee A J, Carpenter M P, Riedinger L L et al. Phys. Lett., 1986, **B169**:21
- Mueller W F, Jin H Q, Lewis J M et al. Phys. Rev., 1999, **C59**:2009
- Kondev F G, Carpenter M P, Janssens R V F et al. Phys. Lett., 2001, **B512**:268
- Goodman ALAN L. Nucl. Phys., 1977, **A287**:1
- Muikku M, Greenlees P T, Hauschild K et al. Phys. Rev., 2001, **C64**:044308
- ZHANG C T, Bhattacharyya P, Daly P J et al. Nucl. Phys., 1998, **A628**:386
- ZHENG Y, ZHOU X H et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2002, **26**(9):909(in Chinese)  
(郑勇, 周小红等. 高能物理与核物理, 2002, **26**(9):909)
- Rämer-Flecken A, Morek T, Lieder R M et al. Nucl. Instr. and Meth., 1989, **A275**:333

**Study of  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  Rotation Band in  $^{179}\text{Au}$  \***

SONG Li-Tao<sup>1</sup> ZHOU Xiao-Hong<sup>1,1)</sup> GUO Ying-Xiang<sup>1</sup> SUN Zhi-Yu<sup>1</sup> M. Oshima<sup>2</sup> T. Toh<sup>2</sup> A. Osa<sup>2</sup>  
M. Koizumi<sup>2</sup> J. Katakura<sup>2</sup> Y. Hatsukawa<sup>2</sup> M. Matsuda<sup>2</sup> M. Sugawara<sup>3</sup>

1 (Institute of Modern Physics, CAS, Lanzhou 730000, China)

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

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

**Abstract** High-spin states in  $^{179}\text{Au}$  have been studied experimentally using the  $^{149}\text{Sm}(^{35}\text{Cl}, 5n)$  heavy-ion fusion-evaporation reaction at beam energies of 164—180 MeV. Measurements of  $\gamma$ -ray excitation functions, X- $\gamma$  coincidences and  $\gamma$ - $\gamma$ - $t$  coincidences were performed with 13 BGO(AC)HPGe and 3 LOAX detectors. Based on these measurements, a rotational band built on the  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  Nilsson state has been established for the first time, and this band has been assigned to  $^{179}\text{Au}$  according to the systematic of level structure in odd- $A$  Au nuclei. Properties of the  $1/2[660](\pi i_{13/2})$  band in odd- $A$  Au nuclei are discussed with an emphasis on the band-head energy while changing the neutron number.

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

Received 25 June 2003

\* Supported by NSFC(10005012, 10025525) and Major State Basic Research Development Program (TG2000077400)

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