

^{183}Au 核高自旋态转动带结构研究^{*}

宋立涛^{1,2;1)} 周小红¹ 张玉虎¹ 郭应祥¹ 雷相国¹ 郑勇¹ 柳敏良¹

G. de Angelis³ N. Marginean³ A. Gadea³ D. R. Napoli³

M. Axiotis³ C. Rusu³ T. Martinez³

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 (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy)

摘要 通过重离子熔合蒸发反应和在束核谱学实验方法研究了奇 A 核 ^{183}Au 的高自旋态能级结构. 扩展并更新了 ^{183}Au 的能级纲图. 首次建立了 ^{183}Au 的 $\pi i_{13/2}$ 转动带的能量非优先带. 分析并讨论了 ^{183}Au 中 $\pi h_{9/2}$ 转动带的能量非优先带和 $\pi f_{7/2}$ 转动带间的相互作用.

关键词 高自旋态 转动带 能级纲图

1 引言

奇 A 核高自旋态能级结构的核谱学信息可以为研究原子核偶偶核实(even-even core)外单粒子轨道的形状驱动效应提供重要的实验依据. 对 Pt-Au-Hg 核区的研究表明, 该核区核实外部的准粒子激发对原子核的形状影响很大, 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^[1-4]. 轻质量的 Au 核同位素($A \approx 185$), 费米能级接近 $\pi h_{9/2}$ 和 $\pi i_{13/2}$ 侵入轨道, 是研究这两个高 j 单粒子轨道形状驱动效应的很好对象^[5,6]. TRS(total Routhian surface)模型计算预言, 奇 A Au 核 $1/2[660](\pi i_{13/2})$ 转动带形变最大值出现在中子闭壳中部($N = 104$, 对应于 ^{183}Au)^[7]. 但由实验数据提取的形变经验值表明, $N = 98-100$ 时这条转动带形变最大^[7]. 最近, P. Joshi 等人对 ^{183}Au 中 $\pi i_{13/2}$ 和 $\pi h_{9/2}$ 转动带的能级寿命进行了测量^[6]. 测量结果表明, 在 ^{183}Au 中, $\pi i_{13/2}$ 比 $\pi h_{9/2}$ 轨道有着更大的形状驱动效应. 本工作之前, W. F. Mueller 等人已经对 ^{183}Au 的高自旋态进行了详细的研究和讨论^[4]. 在对双奇核 ^{184}Au 进行实验研究时, 获得的

^{183}Au 的数据的统计量和质量都很高, 使我们能够更新 ^{183}Au 已有的能级纲图, 因此我们重新对 ^{183}Au 进行了研究.

2 实验

^{183}Au 的实验是在意大利 LNL-INFN 串列静电加速器实验室完成的. 用加速器提供的 ^{29}Si 束流轰击 ^{159}Tb 金属靶, 产生处于高自旋态的 ^{183}Au 核. 靶的质量厚度为 $2\text{mg}/\text{cm}^2$, 并衬有约 $5\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 Au 以阻止反应产物从同位素靶中反冲出来, 造成在束 γ 射线的多普勒位移. 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 γ 测量. 用 ^{152}Eu , ^{133}Ba 和 ^{60}Co 标准放射源对高纯锗探测器做了能量和效率刻度, 对于 ^{60}Co 源的 1332.5keV 的 γ 射线, 探测器的能量分辨约为 2.0keV . 本实验在 140MeV 的束流能量下进行了 γ 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 γ 射线的能量和相对时间、BGO 探测到的 γ 射线总能量和多重性. 实

2004-11-12 收稿

^{*} 国家自然科学基金(10005012, 10025525, 10221003)和国家重点基础研究发展规划(TG2000077402)资助

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

验中共获取了大约 2.5×10^8 个符合事件. 在离线数据处理时, 将高纯锗探测器记录到的 γ 射线的能量信息反演成 2 维和 3 维对称化矩阵, 用于分析 γ 射线的符合关系. 按照探测器相对于束流方向夹角的不同, 还将实验数据反演成 2 维非对称化矩阵: 接近于 90° 和 $34^\circ(146^\circ)$ 附近的探测器分别对应于非对称化矩阵的 x 轴和 y 轴. 从这个非对称化矩阵中提取 γ 射线的 DCO 比率^[8], 用于指定其多极性.

3 结果与讨论

通过对实验数据的详细分析, 本工作扩展并更

新了 ^{183}Au 的能级纲图, 结果展示在图 1 中. 我们新发现了 12 条 γ 射线和 7 个能级, 建立了一个新的转动带 (band 5). 纲图中能级自旋的指定主要基于 DCO 比率. 表 1 给出了实验观测到的 ^{183}Au 的 γ 射线的能量, 相对强度和 DCO 比率. 除了新发现的转动带, 与前人的工作相比^[4], 纲图中最大的不同发生在 Band 2. 我们没有观测到 552, 590 和 625 keV 3 条 γ 射线^[4], 但发现了能量为 573.4, 624.5 和 646.4 keV 的 3 条新 γ 跃迁. 图 2 是两个典型的双门加和后的符合谱. 从这两个开窗谱中都可以清楚地看到 573.4, 624.5 和 646.4 keV 3 条射线和开窗射线有着较强的符合关系.

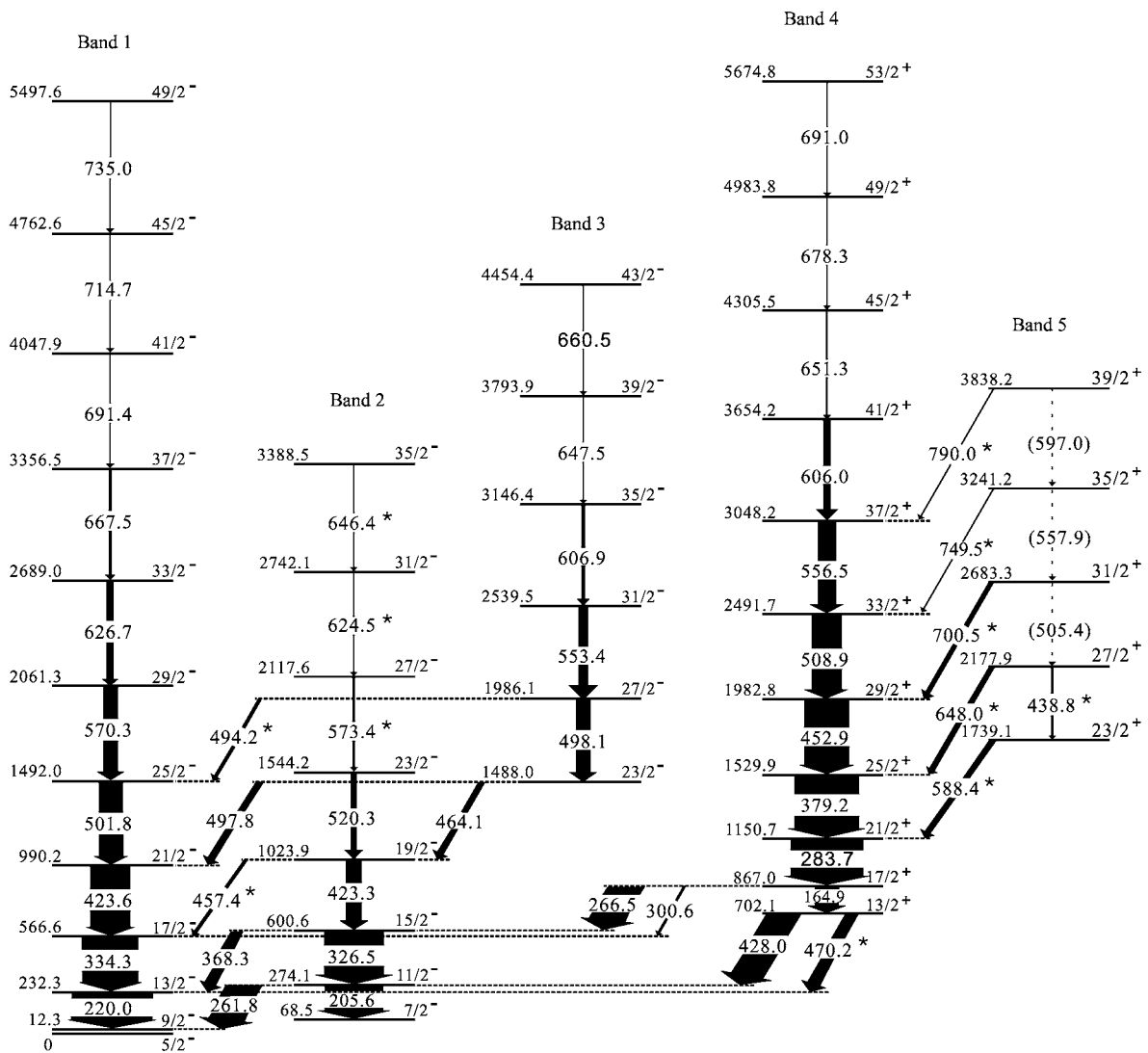


图 1 ^{183}Au 能级纲图

表 1 实验观测到的¹⁸³Au的 γ 射线的能量(E_γ),
相对强度(I_γ)和 DCO 比率(R_{DCO})

E_γ/keV	Band	I_γ^*	R_{DCO}
220.0	1	111.7 \pm 6.7	1.04 \pm 0.04
334.3	1	77.6 \pm 3.2	0.94 \pm 0.04
423.6	1	55.2 \pm 2.1	0.98 \pm 0.04
501.8	1	33.7 \pm 1.4	0.95 \pm 0.06
570.3	1	20.4 \pm 0.9	0.97 \pm 0.08
626.7	1	9.8 \pm 0.7	0.83 \pm 0.12
667.5	1	4.4 \pm 0.5	
691.4	1	2.1 \pm 0.3	
714.7	1	1.2 \pm 0.2	
735.0	1	0.9 \pm 0.2	
205.6	2	80.4 \pm 3.5	0.98 \pm 0.04
326.5	2	82.9 \pm 4.9	0.93 \pm 0.05
423.3	2	22.1 \pm 1.5	0.92 \pm 0.10
520.3	2	6.7 \pm 0.9	
573.4	2	3.7 \pm 0.9	
624.5	2	2.1 \pm 0.4	
646.4	2	1.2 \pm 0.3	
261.8	2 \rightarrow 1	59.0 \pm 4.5	0.38 \pm 0.02
368.3	2 \rightarrow 1	19.2 \pm 2.3	0.59 \pm 0.05
457.4	2 \rightarrow 1	4.0 \pm 0.5	
498.1	3	20.1 \pm 20.1	1.01 \pm 0.53
553.4	3	13.4 \pm 1.9	0.93 \pm 0.05
606.9	3	5.9 \pm 1.0	0.94 \pm 0.31
647.5	3	1.8 \pm 0.5	
660.5	3	1.2 \pm 0.4	
464.1	3 \rightarrow 2	10.6 \pm 0.6	
494.2	3 \rightarrow 1	3.2 \pm 0.5	
497.8	3 \rightarrow 1	10.2 \pm 2.5	
164.9	4	33.4 \pm 2.5	1.09 \pm 0.07
283.7	4	100 \pm 4.3	0.95 \pm 0.05
379.2	4	88.8 \pm 4.4	0.95 \pm 0.03
452.9	4	61.9 \pm 2.9	0.95 \pm 0.04
508.9	4	41.7 \pm 1.9	0.89 \pm 0.05
556.5	4	25.0 \pm 1.7	1.07 \pm 0.09
606.0	4	10.0 \pm 1.6	
651.3	4	2.6 \pm 0.3	
678.3	4	1.3 \pm 0.4	
691.0	4	0.4 \pm 0.2	
266.5	4 \rightarrow 2	60.1 \pm 2.3	0.54 \pm 0.02
300.6	4 \rightarrow 1	3.6 \pm 0.5	
428.0	4 \rightarrow 2	56.5 \pm 2.1	0.52 \pm 0.03
470.2	4 \rightarrow 1	20.9 \pm 2.4	1.18 \pm 0.12
438.8	5	3.5 \pm 1.1	
505.4	5		
557.9	5		
597.0	5		
588.4	5 \rightarrow 4	10.8 \pm 1.3	0.34 \pm 0.08
648.0	5 \rightarrow 4	9.1 \pm 2.1	0.47 \pm 0.10
700.5	5 \rightarrow 4	6.7 \pm 1.5	
749.5	5 \rightarrow 4	1.8 \pm 0.3	
790.0	5 \rightarrow 4	1.1 \pm 0.2	

* γ 射线强度是以 Band 4 中 283.7keV 的 γ 跃迁强度为 100 的相对值.

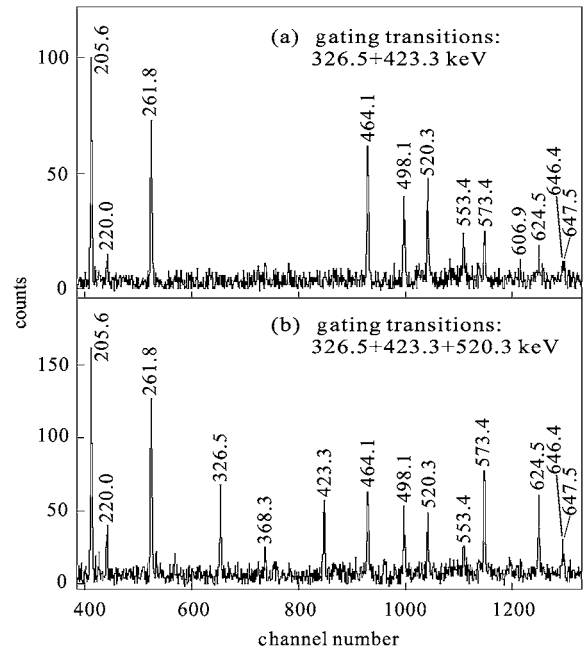


图 2 两个典型的双门加和后的符合谱
(峰位值单位为 keV)

Band 5 是我们新建立的转动带,共观测到 5 个能级.令人不解的是 Band 5 的带内 γ 跃迁强度很弱,除了 438.8keV 的 γ 射线,其余的几条带内跃迁没有被观测到.尽管如此,由 Band 5 到 Band 4 的带间跃迁肯定了 Band 5 中这些能级的存在.图 3 是一个典型的双门加和后的符合谱,由图中我们可以清楚地看到纲图中给出的带间跃迁. Band 5 中能级自旋的指定主要基于 DCO 比率.例如,588.4 和 648.0keV 两条 γ 跃迁的 DCO 比率分别为: 0.34 ± 0.08 和 0.47 ± 0.10 ,都倾向于偶极跃迁,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 $27/2$.

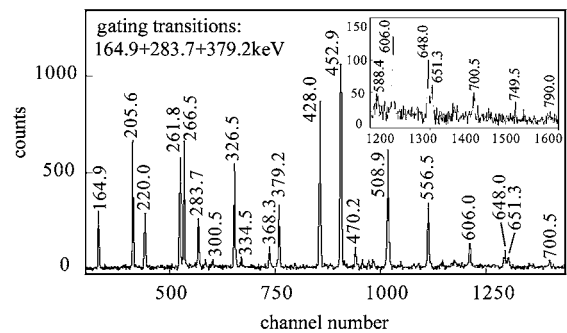


图 3 一个典型的双门加和后的符合谱
(峰位值单位为 keV)

图 4 比较了 ^{183}Au 中 Band 4 和 Band 5 两条转动带的角动量顺排和 Routhian 的实验值. 从角动量顺排图中可以看出 Band 5 的角动量顺排在转动频率较低时符合高 j 低 Ω 单准粒子轨道激发的特征, 并且和 Band 4 相比较, 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^[4], 因此我们建议 Band 5 为 $\pi i_{13/2}$ 转动带的能量非优先带. 考察 Routhian 图, Band 4 和 Band 5 的能量劈裂在 500keV 左右, 和 ^{181}Au 中 $\pi i_{13/2}$ 转动带的能量劈裂值(约 500keV)相近^[4]. 进一步支持了我们对 Band 5 组态的指定. 但是, 最终我们不能理解为什么 Band 5 中带内跃迁强度很弱.

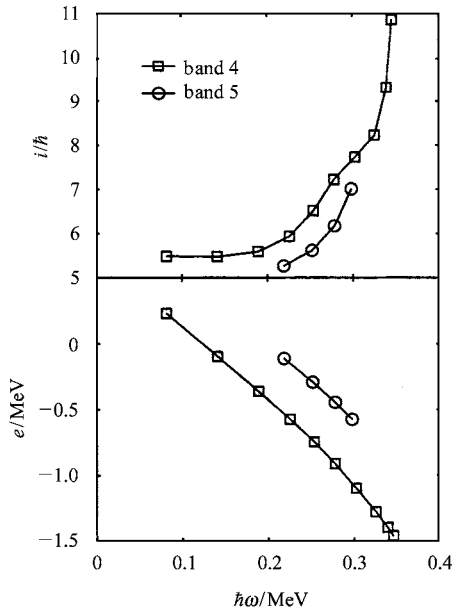


图 4 ^{183}Au 中 Band 4 和 Band 5 的准粒子角动量顺排(i)和 Routhian 值(e)

经过对符合矩阵的仔细分析, 我们没有找到 band 2($\pi h_{9/2}$ 转动带的能量非优先带)和 band 3($\pi f_{7/2}$ 转动带)之间从 $27/2^-$ 到 $23/2^-$ 的交叉跃迁. 图 2 可以帮我们确认这一点. 在图 2 的两个开窗谱中, 这个

位置的交叉跃迁都不能被看到. 此前, band 2 和 band 3 之间从 $27/2^-$ 到 $23/2^-$ 的交叉跃迁在 W.F.Meller 等人的工作中已被报道^[4], 并且有较强的跃迁强度. 交叉跃迁代表转动带能级之间有相互作用^[4]. 为了对 ^{183}Au 中 band 2 和 band 3 两条转动带之间的相互作用的大小有一个比较清楚的了解, 我们提取这两条转动带 γ 跃迁能量的二阶偏离 $\Delta^2 E_\gamma(I)$ ^[9], 并与 ^{181}Au 和 ^{185}Au 中相应转动带 γ 跃迁能量的 $\Delta^2 E_\gamma(I)$ 进行了比较. 其中, $\Delta^2 E_\gamma(I)$ 的提取公式为

$$\Delta^2 E_\gamma(I) = \frac{1}{4} [E_\gamma(I+2) - 2E_\gamma(I) + E_\gamma(I-2)] . \quad (1)$$

图 5 展示了提取结果. $\Delta^2 E_\gamma(I)$ 摆动的幅度正比于相应能级间相互作用的大小^[9]. 因此, 从图中可以看出这两条转动带之间的相互作用在 ^{185}Au 中最大, 在两条转动带交叉的地方约有 23keV. 这个值在 ^{181}Au 和 ^{183}Au 中则很小, 在 ^{183}Au 中不到 1.5keV. 这表明在 ^{183}Au 中这两条转动带间的相互作用很小. 此外, 本工作采集的实验数据是经过 BGO 球过滤(大于两重)后的三重符合事件, 来自于裂变产物和不稳定核 β^+/EC 衰变 γ 射线得到了很好的抑制; 同时, 对 3 维矩阵开双门得到的是净化了的符合谱. 因此我们的数据有着较高可靠性. 综上所述, 我们认为没有在 ^{183}Au 中找到 band 2 和 band 3 之间从 $27/2^-$ 到 $23/2^-$ 的交叉跃迁不仅在数据质量上较之前人有更好的可信性, 而且在理论分析上也是合理的.

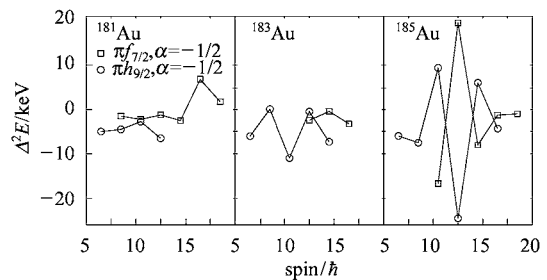


图 5 $^{181}, ^{183}, ^{185}\text{Au}$ 中 $\pi h_{9/2}$ 转动带的能量非优先带和 $\pi f_{7/2}$ 转动带间的相互作用

参考文献 (References)

- 1 Heyde K et al. Phys. Reports, 1983, **102**: 291
- 2 Wood J L et al. Phys. Reports, 1992, **215**: 101
- 3 Lane G J et al. Nucl. Phys., 1995, **A586**: 316
- 4 Mueller W F et al. Phys. Rev., 1999, **C59**: 2009
- 5 Joshi P et al. Phys. Rev., 2004, **C69**: 044304
- 6 Joshi P et al. Phys. Rev., 2002, **C66**: 044306
- 7 Kondev F G et al. Phys. Lett., 2001, **B512**: 268
- 8 Krämer-Flecken A et al. Nucl. Instrum. Methods, 1989, **A275**: 333
- 9 Reviol W et al. Phys. Lett., 1996, **B371**: 19

Experimental Study of High-Spin Band Structures of ^{183}Au *

SONG Li-Tao^{1,2;1)} ZHOU Xiao-Hong¹ ZHANG Yu-Hu¹ GUO Ying-Xiang¹
LEI Xiang-Guo¹ ZHENG Yong¹ LIU Min-Liang¹ G. de Angelis³
N. Marginean³ A. Gadea³ D. R. Napoli³ M. Axiotis³ C. Rusu³ T. Martinez³
1 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)
2 (Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)
3 (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy)

Abstract High-spin states in ^{183}Au have been studied experimentally using heavy-ion-induced fusion-evaporation reaction and standard in-beam γ -ray spectroscopic techniques. The level scheme of ^{183}Au was revised and extended. A rotational band proposed as the unfavored signature branch of the $\pi i_{13/2}$ band has been observed for the first time. Interaction properties between the two negative-signature bands of the $\pi h_{9/2}$ - $\pi f_{7/2}$ system have been discussed for light odd- A Au nuclei.

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

Received 12 November 2004

* Supported by NSFC(10005012, 10025525, 10221003) and Major State Basic Research Development Program (TG2000077402)

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