

^{106}Ag 手征性实验研究*

贺创业¹ 竺礼华^{1,3,1)} 吴晓光¹ 王治民¹ 刘颖¹ 崔兴柱² 张振龙²
孟锐² 马瑞刚¹ 孙慧斌³ 温书贤¹ 李广生¹ 杨春祥¹

1(中国原子能科学研究院 北京 102413)

2(吉林大学物理系 长春 130023)

3(深圳大学理学院 深圳 518060)

摘要 利用能量为 60MeV 的 ^{11}B 束流, 通过 $^{100}\text{Mo}(^{11}\text{B}, 5n)^{106}\text{Ag}$ 熔合蒸发反应布居 ^{106}Ag 的高自旋态, 用 15 台带 BGO 反康的 HPGe 探测器进行在束 γ 谱学测量. 通过 γ - γ 符合矩阵开窗分析和 DCO 比值分析, 建立了 ^{106}Ag 新的能级纲图, 观测到 26 条新 γ 跃迁. 与相邻同位素奇奇核 ^{104}Rh 比较, ^{106}Ag 中带 1 和带 2 具有 $A \approx 100$ 区手征二重带的 3 个特征, 推测它们可能是基于 $\pi g_{9/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态的手征二重带. 但它们的角动量顺排不一致, 在实验上还需进一步的测量研究.

关键词 高自旋态 手征二重带 能级纲图 三轴形变

1 引言

最近, 在对具有三轴形变的原子核的研究中发现原子核的转动存在手征对称性. 当原子核的集体角动量与处于高 j 粒子轨道的价核子和处于高 j 空穴轨道的价核子的角动量三者垂直耦合时, 集体角动量与价核子角动量耦合方式可以呈左手螺旋或右手螺旋, 即出现了手征对称性. TAC 模型^[1]指出, 转动的平均场可以造成三轴形变原子核转动的手征对称性破缺, 因此在实验上可以观察到两条具有相同宇称且接近简并的两条 $\Delta I = 1$ 的转动带, 称为手征二重带.

实验上首先在 $A \approx 130$ 区 $N=75, 73, 71$ 的同中子异位素中找到了手征二重带^[2, 3], 它们都基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态. 理论预言指出 $A \approx 100$ 核区也存在手征性现象^[1, 4], 最近在 $A \approx 100$ 区也大量开展了手征二重带的实验研究. 2004 年, C.Vaman 等人^[5]在 ^{104}Rh 中找到了 $A \approx 100$ 区基于 $\pi g_{9/2} \otimes \nu h_{11/2}$ 组态的手征二重带的第一例实验证据. ^{106}Ag ^[6] 与 ^{104}Rh 具有相同的中子数, 它也有可能存在手征二重带.

2 实验方法和数据分析

实验是在中国原子能科学研究院的 HI-13 串列加速器核物理国家实验室完成的. 通过熔合蒸发反应 $^{100}\text{Mo}(^{11}\text{B}, 5n)^{106}\text{Ag}$ 布居 ^{106}Ag 的高自旋态, 用 15 台带 BGO 反康的 HPGe 探测器测量反应产物的退激 γ 射线. 实验靶 ^{100}Mo 的厚度为 $2.5\text{mg}/\text{cm}^2$, 并带有 $11\text{mg}/\text{cm}^2$ 的 Pb 衬. 通过激发函数测量, 选取 ^{11}B 束流的最佳能量为 60MeV, 在该能量下进行 γ - γ 符合测量, 以事件-事件模式共记录了约 130×10^6 个两重以上的 γ - γ 符合事件.

在实验数据的离线处理时, 对各探测器进行增益匹配, 将 γ - γ 符合事件反演生成对称化的 E_γ - E_γ 两维能量矩阵. 此外还按照探测器相对束流方向夹角的不同, 将实验数据反演成非对称化的 DCO 矩阵, 用于确定 γ 跃迁多极性分析, 进而指定相关能级的自旋值. 采用基于 PC-Linux 的 RADWARE 软件^[7] 对上述两维矩阵进行开窗谱分析. 根据 γ - γ 级联关系以及 γ 射线能量和强度的平衡原则, 最后得到 ^{106}Ag 新的能级纲图, 共增加了 26 条新 γ 跃迁(图中 γ 跃迁能量后面用 * 标示), 并对文献[6]的纲图做了很大的修改与扩充^[8].

* 国家自然科学基金(10175090, 10105015, 10375092, 10575133)和国家重点基础研究发展规划项目(TG2000077405)资助

1) E-mail: zhulh@iris.ciae.ac.cn

图 1 给出新建立的 ^{106}Ag 部分能级纲图.

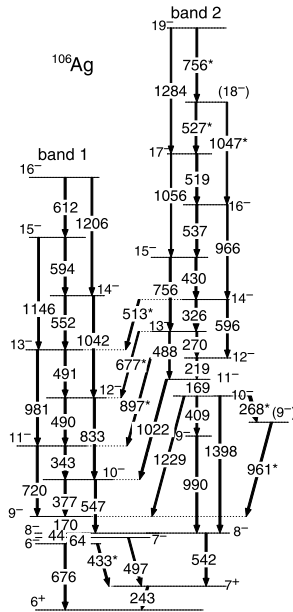


图 1 本工作给出的部分 ^{106}Ag 能级纲图
 γ 跃迁能量单位 keV (其中新发现的 γ 射线用 * 表示).

3 物理分析

3.1 手征性分析

根据从手征二重带的 3 个重要特征^[5, 9, 10]对 ^{106}Ag 能级纲图的带 1 与带 2 进行讨论. 图 2 中 (a) 为 ^{106}Ag 带 1 和带 2 的激发能与自旋的关系图, 与它的同中子素 ^{104}Rh ^[5] 相比, 它们具有相同的特征. 在 $10^{-\hbar}$, 带 1 与带 2 的能级能量具有较大的劈裂, 随着自旋升高, 到 $14-\hbar$ 时, 它们的能级能量劈裂非常小, 只有 39keV, 并且在更高的自旋态一直保持了较小的劈裂. 实验上观察到的第一例手征二重带的核素 ^{134}Pr ^[11, 12] 中, 也表现出相似的特征. 出现上述现象的原因不难理解, 具有三轴形变的原子核在转动频率较低时, 核芯集体角动量很小, 总角动量位于长轴和短轴所确定的平面内, 这种平面转动导致了较大的能级劈裂. 随着自旋的增加, 核芯集体角动量也随着增大, 总角动量逐渐移出长短轴所确定的平面, 平面转动成分越来越少, 三轴形变核的非平面转动形成了左手和右手两个手征对称系统, 因此带 1 和带 2 这两条转动带在高自旋态时一直保持着较为接近的能级能量.

图 2(b) 给出了 ^{106}Ag 带 1 和带 2 的旋称劈裂 $S(I) = [E(I) - E(I)]/2I$ 与自旋 I 的函数关系图. 从图中看出, $S(I)$ 值随着自旋的增加平滑变化. 这是因为处在高 j 轨道的价中子与价质子的角动量都与集体转动轴相互垂直, 所以价核子所处的相应 Ω 轨道不会受到集体转

动的影 响, 即不发生能量劈裂. 它就像轴对称转子的强耦合带一样, 价核子的角动量垂直于集体转动轴而没有旋称劈裂.

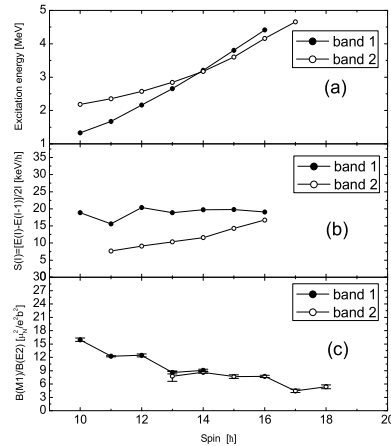


图 2 (a) 激发能和自旋关系; (b) 旋称劈裂 $S(I)$ 和自旋关系; (c) $B(M1)/B(E2)$ 和自旋关系

图 2(c) 给出了本工作提取 ^{106}Ag 带 1 和带 2 的 $B(M1)/B(E2)$ ^[10] 值, 它与 ^{104}Rh 手征二重带 $B(M1)/B(E2)$ 具有相同的相位. 三轴形变核非平面转动的手征对称性严格控制着 $B(M1)/B(E2)$ 的相位. 在 $A \approx 100$ 区, 手征二重带奇自旋 $B(M1)/B(E2)$ 值要低于偶自旋的值, 并且 $B(M1)_{\text{in}}/B(M1)_{\text{out}}$ ^[10] 的相位也与此相同. 然而不幸的是, 带 2 与带 1 之间的连接跃迁 513 和 677keV 分别被 511(电子湮没) 和 676keV(带 1 低自旋态跃迁到正宇称 6^+ 态上的 γ 跃迁) 污染, 本工作未能给出 $B(M1)_{\text{in}}/B(M1)_{\text{out}}$ 值. 需要指出的是, 在 $A \approx 100$ 区, 手征二重带 $B(M1)/B(E2)$ 的相位与 $A \approx 130$ 区相反, 这可能归结于手征二重带宇称的变化^[9]. $A \approx 130$ 区的手征二重带为正宇称; 而 $A \approx 100$ 区为负宇称, 这可能就是导致 $A \approx 100$ 区 $B(M1)/B(E2)$ 的相位与 $A \approx 130$ 区相反的原因.

3.2 角动量顺排分析

综上所述, ^{106}Ag 中带 1 与带 2 满足 $A \approx 100$ 区手征性的 3 个特征. 如果这两条带为手征二重带, 那么它们的角动量顺排应一致. 在 $A \approx 100$ 区, ^{104}Rh 晕带与伴带的能量最接近简并, 被认为是最典型的手征二重带. 下面对 ^{106}Ag 与 ^{104}Rh 晕带与伴带的角动量顺排进行分析. 从图(3)可以看出, ^{106}Ag 中带 1 与带 2 的角动量顺排相差约 $2\hbar$; ^{104}Rh 带 1 与带 2 的角动量顺排在最大处相差也将近 $2\hbar$. 这些与它们具有相同的组态相矛盾. 因此作者认为, 要想确认 ^{106}Ag 和 ^{104}Rh 中晕带与

其伴带是否为手征二重带, 还需在实验上进一步进行寿命测量分析.

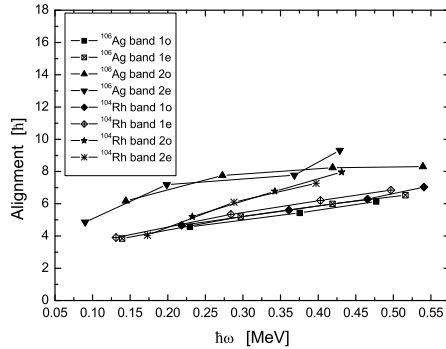


图3 ^{106}Ag 与 ^{104}Rh 带1与带2角动量顺排比较, ^{106}Ag 采用的Harris参数^[6]为 $J_0 = 8.9\hbar^2/\text{MeV}$, $J_1 = 15.7\hbar^4/\text{MeV}^3$; ^{104}Rh 采用的Harris参数^[13]为 $J_0 = 9\hbar^2/\text{MeV}$, $J_1 = 16\hbar^4/\text{MeV}^3$ (图中○代表奇自旋, e代表偶自旋)

4 总结

通过 $^{11}\text{B}+^{100}\text{Mo}$ 反应, 利用能量为60MeV的束流布居 ^{106}Ag 的高自旋态, 建立了新的能级纲图. 观测到带1与带2之间更多的M1连接跃迁. 与它的同中子素 ^{104}Rh 相比, ^{106}Ag 同样具有手征二重带3个重要特征. 但 ^{106}Ag 与 ^{104}Rh 中晕带与伴带角动量顺排都不一致. 那么 ^{106}Ag 中带1与带2是否为手征二重带还不能明确指定, 这也给已经确定的 ^{104}Rh 手征二重带提出了疑问. 需要实验上进行进一步的寿命测量.

作者感谢中国原子能科学研究院串行加速器运行组的工作人员为本实验提供稳定的束流, 同时感谢制靶组的许国基研究员为本实验提供优质实验靶.

参考文献(References)

- Fraundorf S et al. Nucl. Phys., 1997, **A617**: 131
- Starosta K et al. Phys. Rev. Lett., 2001, **86**: 971
- Hecht A A et al. Phys. Rev., 2003, **C68**: 054310
- Fraundorf S et al. Rev. Mod. Phys., 2001, **73**: 463
- Vaman C et al. Phys. Rev. Lett., 2004, **92**: 032501
- Jerrestam D et al. Nucl. Phys., 1994, **A577**: 786
- Radford D C. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., 1995 **A361**: 297
- HE Chuang-Ye et al. High Ener. Phys. and Nucl. Phys., 2006, **30**(10): 966 (in Chinese)
(贺创业等. 高能物理与核物理, 2006, **30**(10): 966)
- Joshi P et al. Phys. Lett., 2004, **B595**: 135
- Joshi P et al. Eur. Phys. J., 2005, **A24**: 23
- Petrache C M et al. Nucl. Phys., 1996, **A597**: 106
- Dimitrov V et al. Phys. Rev. Lett., 2000, **84**: 5732
- Porquet M G et al. Eur. Phys. J., 2003, **A18**: 25

Experimental Study on Chirality in $^{106}\text{Ag}^*$

HE Chuang-Ye¹ ZHU Li-Hua^{1,3;1)} WU Xiao-Guang¹ WANG Zhi-Min¹ LIU Ying¹ CUI Xing-Zhu²
ZHANG Zhen-Long² MENG Rui² MA Rui-Gang¹ SUN Hui-Bin³ WEN Shu-Xian¹
LI Guang-Sheng¹ YANG Chun-Xiang¹

1 (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

2 (Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023, China)

3 (School of Science, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract High spin states in ^{106}Ag have been studied using the $^{100}\text{Mo}(^{11}\text{B}, 5n)^{106}\text{Ag}$ reaction at a beam energy of 60MeV at HI-13 tandem accelerator in China Institute of Atomic Energy. The γ - γ coincidences were measured using 15 HPGe detectors with Compton suppressed shield. By analyzing the γ - γ coincidence and their DCO ratios, new level scheme of ^{106}Ag has been presented. 26 new γ were found compared with previous level scheme. Experimental evidences for chiral doublet bands built on $\pi g_{9/2} \otimes \nu h_{11/2}$ configuration in ^{106}Ag are briefly discussed. But $2\hbar$ difference in alignments is too large to interpret as chiral doublet bands.

Key words high spin state, chiral doublet bands, level scheme, triaxial deformation

* Supported by Major State Basic Research Development Program (TG2000077405) and National Natural Science Foundation of China (10175090, 10105015, 10375092, 10575133)

1) E-mail: zhulh@iris.ciae.ac.cn