

^{158}Tm 核中的带结构及电磁跃迁性质*

周文平^{1,1)} 赵延新¹ 赵广义¹ 马英君¹ 陆景彬¹ 王守宇¹ 孙亮¹ 杨东¹ 李险峰¹
马纯辉¹ 刘运祚¹ 竺礼华² 吴晓光² 崔兴柱² 贺创业² 李明非³

1(吉林大学物理学院 长春 130021)

2(中国原子能科学研究院 北京 102413)

3(东北师范大学物理学院 长春 130024)

摘要 通过融合蒸发反应 $^{144}\text{Nd}(^{19}\text{F},5\text{n})E=108, 112\text{MeV}$ 对双奇核 ^{158}Tm 的高自旋态进行了研究. 扩展了原已建立的带结构, 并建立了2条新转动带. 获得了 γ 射线的相对强度和耦合带的 $B(M1)/B(E2)$ 比值. 观测到了 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 组态带的旋称反转点. 对新建立的转动带进行了自旋-宇称以及组态的讨论.

关键词 旋称反转 电磁跃迁 三轴形变 顺排

1 引言

对形变双奇核能级结构的研究可以揭示出核形变、核中单粒子运动与核的集体运动以及二者之间的相互耦合、中子-质子剩余相互作用等许多重要的核结构信息. 双奇核 ^{158}Tm 位于 $A \approx 160$ 开端的大形变区边缘. 近年来, 这一核区的双奇核因为 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 组态带的低自旋旋称反转现象^[1]而成为了实验和理论研究的关注热点. 以往对 ^{158}Tm 的研究^[2, 3]结果不足以提供关键的数据(即旋称反转点), 不利于对旋称反转现象获得系统的认识. 同时, 对于 ^{158}Tm 核中 γ 射线的相对强度以及耦合带的电磁跃迁特性等基本实验信息一直未见正式报道. 另外, 在低自旋区域, 目前只建立了基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 组态的唯一一条转动带. 本工作通过在束谱学方法开展了对 ^{158}Tm 的研究, 取得了更多的新的实验结果. 部分结果已报道于文献[4]. 本文将在该报道的基础上, 进行新的实验结果报道以及物理讨论.

2 实验方法和实验结果

利用融合蒸发反应 $^{144}\text{Nd}(^{19}\text{F},5\text{n})$ 布居了双奇核 ^{158}Tm 的高自旋态. 束流由中国原子能科学研究院

HI-13串列加速器提供, 实验分别在108和112MeV两个能量点上进行了测量. 实验用靶为自支撑的 ^{144}Nd 膜, 质量厚度为 $5\text{mg}/\text{cm}^2$. 纯度为96%. 利用14台反康型HpGe探测器进行了 γ - γ 符合谱、符合 γ 单谱以及剩余放射性的测量. 共收集了二重符合事件200个百万. 离线处理中建立了对称化以及非对称化的 E_γ - E_γ 矩阵. 前者用于 γ - γ 符合关系的分析, 后者用于提供 γ 射线ADO比值, 并进一步以此推断 γ 射线多极性.

本工作建立的 ^{158}Tm 能级纲图示于图1. 与以往研究^[2, 3]相比, 基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 组态的 $B1 \sim B2$ 被从 $I^\pi = (23^-)$ 推高至 $I^\pi = (31^-)$. 同时新建立了 $B7$, $B8$ 和 $B9$ 几条转动带, 其中 $B7$ 与 $B8$ 构成了一条耦合带. 图2给出了支持上述新建能级结构的开窗谱示例.

3 讨论

$B7 \sim B8$ 构成的耦合带中, 最低的 $E2$ 跃迁能量为 354keV , 对应的转动频率仅约为 $\hbar\omega = E_\gamma/2 = 0.177\text{MeV}$. 考虑到 ^{158}Tm 核区最低频率的带交叉发生在 $\hbar\omega_c \approx 0.30\text{MeV}$ 水平(^{157}Tm ^[5], ^{159}Tm ^[6]), 并且带交叉发生后, 多准粒子带的起始频率一般高于 0.25MeV 因此 $B7 \sim B8$ 最可能为两准粒子带而不是因准粒子顺排拆对产生的四准粒子带.

* 国家自然科学基金(10205006)资助

1) E-mail: wenping-1976@163.com

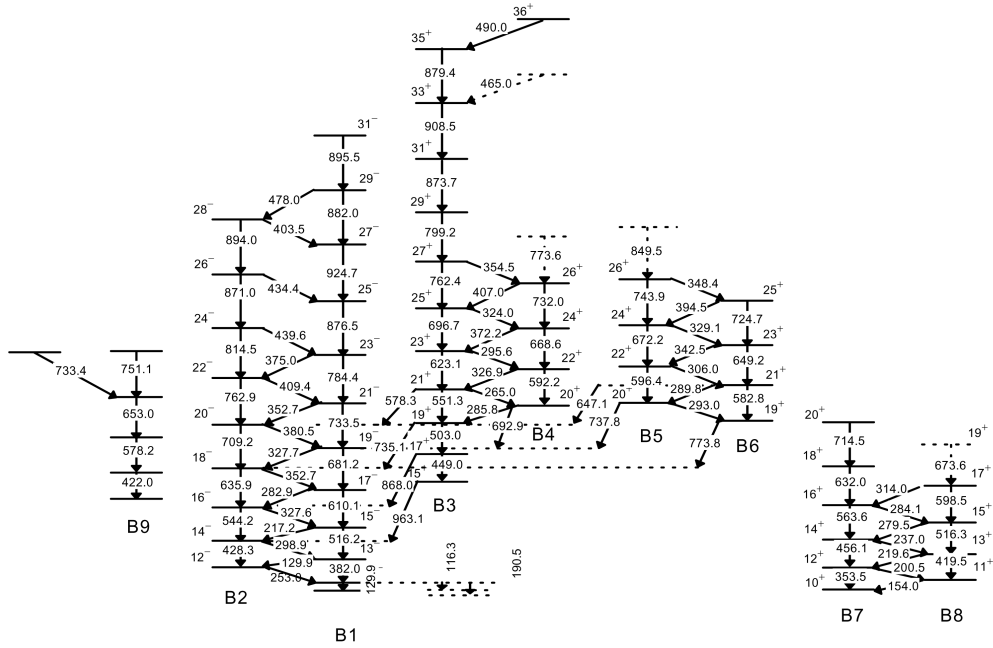


图 1 本工作建立的 ^{158}Tm 能级纲图

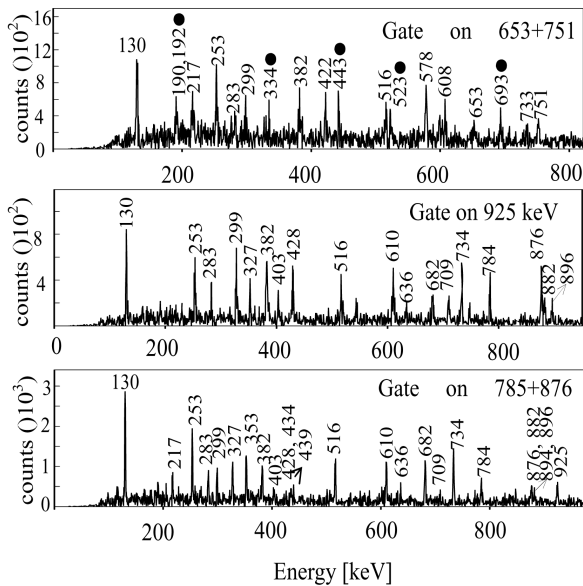


图 2 符合开窗谱示例
其中 ● 表示来自 ^{158}Er .

$B7 \sim B8$ 构成的耦合带呈现较小程度的能量旋称劈裂. 在相邻奇 A 核中, 只有 $^{157}\text{Tm}^{[5]}$ 及 $^{159}\text{Tm}^{[6]}$ 的 $\pi g_{7/2}[404]7/2^+$ 及 $\pi d_{5/2}[402]5/2^+$ 组态带具有这样的特征, 而 $\pi h_{11/2}$ 组态带以及奇中子核 $^{157}\text{Er}^{[7]}$, $^{159}\text{Yb}^{[8]}$ 中的 $\nu i_{13/2}$ 及 $\nu h_{9/2}$ 组态带都呈现相对很大程度的能量旋称劈裂. 因此, $\pi g_{7/2}$ 或 $\pi d_{5/2}$ 最可能被包含在 $B7 \sim B8$ 的准粒子构成中. 鉴于 $\pi g_{7/2}$ 与 $\pi d_{5/2}$ 相比, 更靠近费米面^[6], 所以, $\pi g_{7/2}$ 是更合理的选择. 至于 $B7 \sim B8$ 组态构成中的准中子态, 则以 $\nu i_{13/2}$ 更为合理, 因为高 j 的 $\nu i_{13/2}$ 轨道携带着更大的顺排角动量,

随转动频率的增加, 比 $h_{9/2}$ 轨道更快地靠近晕线. 因此, 我们尝试性地推定 $B7 \sim B8$ 基于 $\pi g_{7/2} \otimes \nu i_{13/2}$. 基于上述对 $B7 \sim B8$ 的组态指定, 我们又进一步利用了顺排相加性规则对该转动带的自旋进行指定. 该规则在 $A \approx 160$ 区具有较好的适用性, 我们曾利用该规则讨论了 ^{160}Lu 的晕带能级自旋^[9]. 利用这样的方法, $B7 \sim B8$ 的最低能级自旋被指定为 10.

$B9$ 是一条新发现的转动结构. 由于没有建立它和低激发态的各转动带的连接, 我们倾向于认为 $B9$ 也是两准粒子带而不是四准粒子带. 由于 $B9$ 呈现退耦结构, 所以在其组态构成中, 无论是准中子态还是准质子态都表现出较强的退耦性质. 考察相邻奇 A 核的转动带特征, 我们倾向性认为 $B9$ 基于 $\pi d_{3/2}[411]1/2^+ \otimes \nu i_{13/2}$ 或 $\pi h_{9/2}[541]1/2^- \otimes \nu i_{13/2}$ 组态.

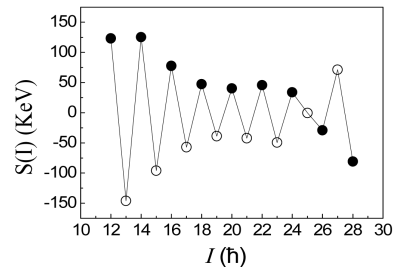


图 3 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 带的能量摆动随自旋变化曲线

$$S(I) = E(I \rightarrow I-1) - [E(I+1 \rightarrow I) + E(I-1 \rightarrow I-2)]/2.$$

$B1 \sim B2$ 基于 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 组态^[2]. 基于该组态的转动带的低自旋旋称反转问题近年来受到了广泛关

注. 文献[1]中阐述了旋称反转随中子数变化的系统学规律, 为该现象的可能机制的研究提供了重要的参考. $^{160-168}\text{Tm}$ 的旋称反转点已经被揭示^[1], 而本工作之前 ^{158}Tm 的旋称反转点在何处一直未见实验研究报道. 图3给出了描述 $B1 \sim B2$ 能量摆动行为的 $S(I) \sim I$ 关系曲线. 从该图可以看到, ^{158}Tm $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 带的旋称反转点发生在 $I = 25\hbar$. 该值远远高于了系统学预期的 $21\hbar$ ^[1]. ^{158}Tm 中旋称反转点发生延迟的机制有待理论进一步研究.

图4给出了 $B1 \sim B2$ 的带内 $B(M1)/B(E2)$ 比值随自旋的变化实验及理论关系曲线. 其中 $B(M1)/B(E2)$ 理论值的计算基于常用的几何模型^[10]. 从图中可以看到在三轴形变参数 $\gamma = +10^\circ$ 的假定下, 实验与理论取得了较好的符合. 在一定程度上支持了 ^{158}Tm $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 转动带具有可观程度的三轴形变的观点, 而三轴形变曾被推转壳模型视为低自旋旋称反转的重要机制. 另外, $B(M1)/B(E2)$ 实验曲线在接近回弯附近开始出现上升, 这种现象在较重的 $^{160-166}\text{Tm}$ 等双奇核中也普遍存在. ^{158}Tm 中

$B(M1)/B(E2)$ 比值在回弯附近的突然上升应与转动带内禀组态以及原子核形状的变化密切相关.

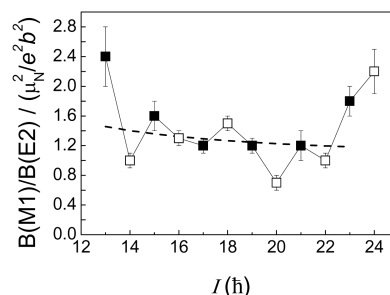


图4 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 带在 $\gamma = +10^\circ$ 形变下理论 $B(M1: I \rightarrow I-1)/B(E2: I \rightarrow I-2)$ 值随自旋增加变化曲线和实验值的比较

4 总结

本工作利用在束谱学方法对 ^{158}Tm 的高自旋态进行了研究. 建立了两条新的转动带并建议了它们的组态和自旋. 首次观测到了 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ 带的旋称反转点, 并讨论了该转动带的带内电磁特性.

参考文献(References)

- LIU Yun-Zuo, MA Ying-Jun et al. Phys. Rev., 1995, **C52**: 2514
- Riley M A et al. Phys. Rev., 1989, **C39**: 291
- Andre S et al. Z. Phys., 1989, **A332**: 233
- ZHOU Wen-Ping, MA Ying-Jun et al. HEP & NP, 2006, **30**: (in Chinese)
(周文平, 马英君, 赵广义等. 高能物理与核物理, 2006, **30**:)
- Riley M A et al. Phys. Rev., 1995, **C51**: 1234
- Gascon J et al. Nucl. Phys., 1987, **A467**: 539; David Radford et al.(unpublished)
- Gale S J et al. J. Phys., 1995, **G21**: 193
- Byrski T et al. Nucl. Phys., 1987, **A474**: 193
- SUN H B, MA Y J, LIU Y Z et al. HEP & NP, 1995, **19**: 929—935(in Chinese)
(孙慧斌, 马英君, 刘运祚等. 高能物理与核物理, 1995, **19**: 929—935)
- Dönau F. Nucl. Phys., 1987, **A471**: 469—488

New Band Structures and Electromagnetic Properties in ^{158}Tm *

ZHOU Wen-Ping^{1,1)} ZHAO Yan-Xin¹ ZHAO Guang-Yi¹ MA Ying-Jun¹ LU Jing-Bin¹
WANG Shou-Yu¹ SUN Liang¹ YANG Dong¹ LI Xian-Feng¹ MA Chun-Hui¹ LIU Yun-Zuo¹
ZHU Li-Hua² WU Xiao-Guang² CUI Xing-Zhu² HE Chuang-Ye² LI Ming-Fei²

¹(Department of Physics, Jilin University, Changchun 130021, China)

²(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

³(Department of Physics, North-East Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract High spin states of odd-odd nucleus ^{158}Tm have been studied by using $^{144}\text{Nd}(^{19}\text{F}, 5n)$ reaction at beam energies of 108 and 112 MeV. Two new bands are identified. And their possible configurations and spin/parity assignments are discussed. Furthermore, experimental $B(M1)/B(E2)$ values are obtained for the $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$ band and compared with calculations based on geometric model.

Key words signature inversion, electromagnetic transition, triaxial deformation, alignment

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10205006)

1) E-mail: wenping-1976@163.com