

^{179}Pt 转动带性质的研究*

徐岩冰 周小红¹⁾ 宋立涛 郭应祥 孙志宇

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

M. Oshima T. Toh A. Osa M. Koizumi J. Katakura Y. Hatsukawa M. Matsuda

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

M. Sugawara

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

摘要 利用能量为 164—180MeV 的 ^{35}Cl 束流,通过 $^{149}\text{Sm}(^{35}\text{Cl}, p4n)$ 反应研究了 ^{179}Pt 的高自旋态能级结构. 进行了 γ 射线的激发函数、X- γ 和 γ - γ - t 符合测量,建立了基于 $1/2^- [521]$, $5/2^- [512]$ 和 $7/2^+ [633]$ 组态的 3 个转动带. 实验上观测到 $1/2^- [521]$ 带在 $\hbar\omega = 0.27\text{MeV}$ 附近顺排角动量突然增大,且 $7/2^+ [633]$ 带具有较大的旋称劈裂. 通过比较奇 A Pt 同位素和 ^{179}Pt 的同中子素能级结构的系统性,对相关现象进行了分析和讨论.

关键词 在束 γ 谱学 转动带 旋称劈裂

1 引言

$Z = 78$ 的缺中子 Pt 核具有典型的过渡区核性质,它们的能级结构表现出很强的组态相关性,并且核的形状非常容易受转动的影响^[1,2]. 不能用简单的集体模型或壳模型来解释缺中子 Pt 核的能级结构,需要引入诸如三轴形变,不稳定的 γ 形变,十六极形变等自由度^[3,4]. 实验上系统地观测到了偶-偶 Pt 核反常基态转动带结构,即这些核第一 2^+ 态的能量明显偏大^[5-10]. 唯象理论模型利用大形变长椭球和小形变扁椭球的形状共存很好地解释了偶-偶 Pt 核的低位能级结构,得到长椭球形变与扁椭球形变能量极小的差值随中子数变化成抛物线分布,并且其极值对应于中子数 $N = 102$ (^{180}Pt) 和 104 (^{182}Pt)^[1]. 但是,缺中子奇 A Pt 核的基态普遍具有长椭球形状^[1-4]. Pt 核基态形变的奇-偶差现象表明最后一个价中子具有非常强的长椭球形状驱动作用. 因此,为了系统地理解 Pt 核的能级结构,研究奇 A Pt 核单准粒子激发态的性质是非常重要的.

在 ^{183}Hg 的 α 衰变研究中,观测到了 ^{179}Pt 的几个低位能级,并确定了其基态为 $1/2^- [521]$ ^[11,12]. Mailoux J 曾在其论文中给出了 ^{179}Pt 的转动带结构^[13],但研究结果未发表.

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}Cl 束流轰击 ^{149}Sm 同位素靶,产生处于高自旋激发态的 ^{179}Pt 核. ^{149}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 γ 射线的激发函数测量,然后在 180MeV 束流能量下进行了 γ - γ - t 符合测量,这里 t 是符合的两条 γ 射线到达探测器的相对时间差,符合窗为 200ns. 在 X- γ 和 γ - γ 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 γ 射线的 LOAX 探测器. 它们分别放置于与束流方向成 $90^\circ(2)$, $\pm 72^\circ(6)$ 和 $\pm 35^\circ(8)$ 的位置上. 括号中的数值为各个角度处探测器的数目.

2003-09-23 收稿

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

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

各探测器对 ⁶⁰Co 源 1332.5keV 峰的能量分辨在 2.0—2.7keV 之间. γ - γ 符合数据以事件方式记录到数据文件中,共获取了约 250×10^6 个符合事件. 在离线数据处理时,对各个探测器进行增益匹配,然后将 γ - γ 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 ¹⁵²Eu 和 ¹³³Ba 源对探测器做了能量和相对探测效率刻度.

为了确定 γ 射线的跃迁多极性,进而指定相关能级的自旋值,本工作测量了在符合模式下的 γ 射线的各向异性度,即 ADO 系数(Angular Distribution of γ Rays Deexciting Oriented States)^[14]. 具体做法是:数据处理时,把位于 $\pm 35^\circ$ 和 90° 位置处探测器记录到的 γ 射线的能量值分别放到两个矩阵的 y 轴上,与之符合的其它 γ 射线,不论被哪个角度的探测器所记录,都把其能量值放到相应矩阵的 x 轴上,从而建立了两个不对称矩阵. 用较强的 γ 射线对这两个矩阵进行 y 方向投影,定义 ADO 系数为 $\pm 35^\circ$ 和 90° 方向上投影谱中 γ 射线的强度比:即 $R_{ADO} = I_{\gamma(\pm 35^\circ)} / I_{\gamma 90^\circ}$. 在提取 γ 射线强度时,对这两个 y 方向的投影谱进行了相对探测效率修正. 根据偶极和四极跃迁的角分布特性,对应于这两种跃迁极性的 γ 射线,它们的 ADO 系数应明显不同^[15].

3 结果与讨论

利用与 Pt 的特征 KX 射线的符合关系以及奇质量数 Pt 核和 $N = 101$ 的同中子数核能级结构的系统性指定了 ¹⁷⁹Pt 的 γ 射线. 图 1 给出了典型的 γ - γ 符合谱,这些谱中的 γ 射线都与 Pt 的特征 X 射线符合. 仔细地分析 γ 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 3 条转动带. 基于奇 A Pt 核和 $N = 101$ 的同中子素核能级结构的系统性^[1-3,16-18],指定了各个带的组态及带头的自旋宇称值. 利用实验测量得到的 ADO 系数,指定了布居较强的能级的自旋值.

为了研究在转动条件下准粒子激发的特性,图 3 给出了带 1 和带 3 的顺排角动量 i_x . 计算中所用 Harris 参量 $J_0 = 28.76\text{MeV}^{-1} \hbar^2$, $J_1 = 178.84\text{MeV}^{-3} \hbar^4$ 是通过拟合 ¹⁷⁸Pt 基态带的的数据得到的.

带 1 具有典型的退耦合带特征,由于旋裂劈裂很大,实验中只观测到 $\alpha = 1/2$ 的能量优惠带. 通过仔细分析奇 A Pt 核和与 ¹⁷⁹Pt 同中子数的奇 A 核的能级结构,认为带 1 的组态应为 $\nu 1/2^- [521] (p_{3/2})$.

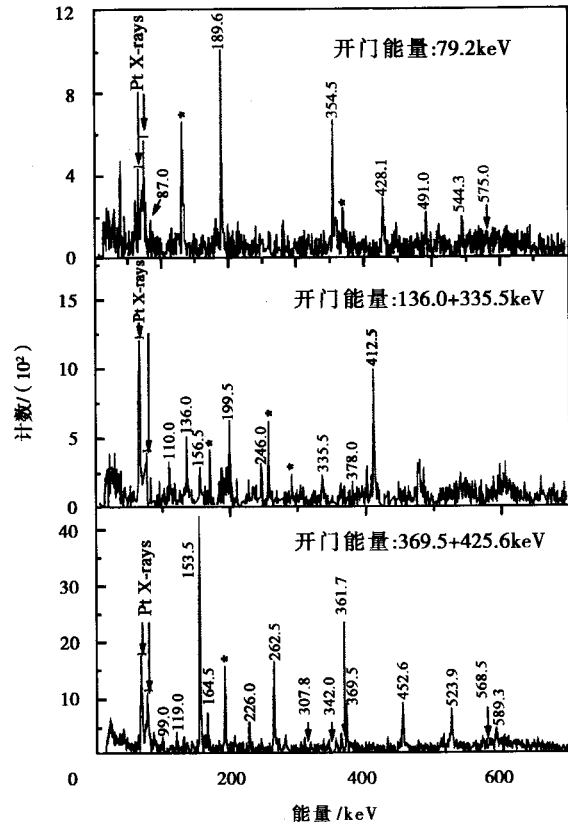


图 1 典型的 γ - γ 符合谱(其中 * 表示污染)

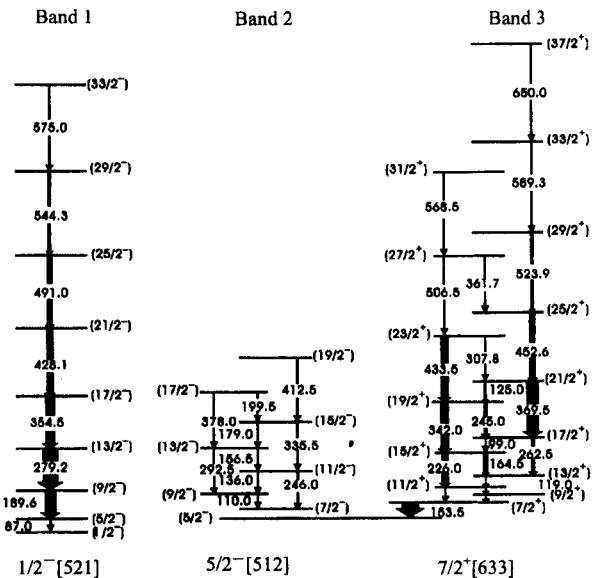
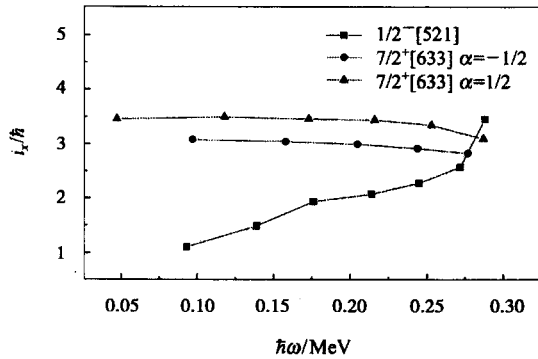
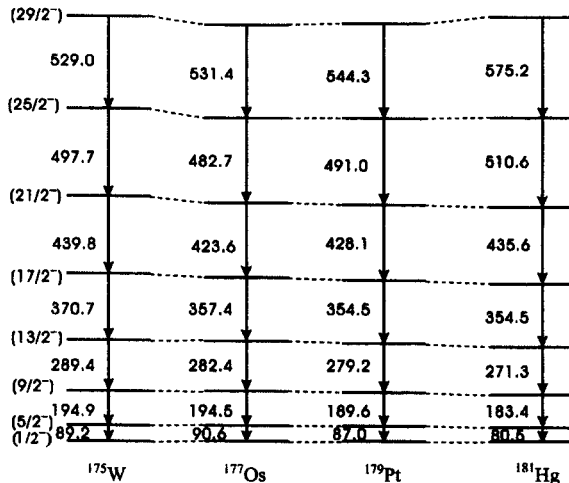


图 2 ¹⁷⁹Pt 的能级纲图

图 4 比较了带 1 和 $N = 101$ 的奇 A 核的 $1/2^- [521]$ 转动带,可见带 1 的能级结构非常好地符合 $1/2^- [521]$ 转动带的系统性. 图 3 显示带 1 在 $\hbar\omega = 0.27\text{MeV}$ 附近顺排角动量突然增大,这表明发生了带交叉. 由于受实验测量装置的限制,本实验未测量到带 1 的

图 3 准粒子顺排角动量 i_x

更高自旋的能级,因而不能准确确定带交叉频率.从邻近奇中子核转动带结构的系统性来看, $1/2^- [521]$ 带的带交叉应是由于两个 $i_{13/2}$ 中子顺排造成的. 基于 $\nu 7/2^+ [633] (i_{13/2})$ 组态的带 3 在实验观测的转动频率 ($\hbar\omega < 0.3 \text{ MeV}$) 内未发生回弯, 这一“阻塞”现象支持带 1 在 $\hbar\omega = 0.27 \text{ MeV}$ 附近顺排角动量突然增大是由于中子 AB 交叉造成的.

图 4 带 1 与 ¹⁷⁹Pt 的同中子素中 $1/2^- [521]$ 带能级结构的比较 (能量单位 keV)

带 2 具有强耦合带的特征. 由于布居较弱, 本实验只观测到了其较低自旋的能级. 带 2 的结构性质, 例如能级间距、没有旋称劈裂、顺排角动量等与奇 A Pt 核及 $N = 101$ 的奇中子核中的 $5/2^- [512]$ 带非常相似. 因此, 带 2 可能是基于 $5/2^- [512]$ 组态的转动带. 由于所观测到的能级较少, 我们无法深入讨论带 2 的性质.

带 3 布居得最强, 利用带内交叉跃迁准确地确定了 γ 跃迁在转动带中的位置. 比较相邻偶 Z 同中子素的能级结构, 带 3 应该是基于 $7/2^+ [633]$ 组态的

转动带. 在 $N = 101$ 的同中子素中, $7/2^+ [633]$ 带的带头是同核异能态, 自旋宇称是 $7/2^+$. 从同中子素中 $7/2^+ [633]$ 带的能级间隔可以看到 $9/2^+ \rightarrow 7/2^+$ 和 $11/2^+ \rightarrow 7/2^+$ 跃迁的能量很低. 由于这些低能跃迁大的内转换系数和探测器对低能 γ 射线低的探测效率, 本工作未观测到带 3 的带头. 基于强度平衡 (见图 1), 与带 3 所有 γ 射线符合的 153.5 keV 跃迁应是 E1 跃迁. 能量为 153.5 keV 的跃迁, 只有当其跃迁极性为 E1 时内转换系数很小, 导致在图 1 中 153.5 keV 峰很强. 比较同中子素结构的系统性^[16-18], 我们建议 153.5 keV 跃迁从带 3 的带头退激到带 2 的带头. 带 3 在实验观测的转动频率内未发生回弯.

带 3 具有明显的旋称劈裂. 为了研究带 3 的旋称劈裂^[3], 定义

$$S(I) = [E(I) - E(I-1)] - 1/2[E(I+1) - E(I) + E(I-1) - E(I-2)], \quad (1)$$

这里, $E(I)$ 是自旋为 I 的能级能量. 从图 5 可见, 带 3 具有较大的旋称劈裂. 如果带 3 建立在纯的高 K $7/2^+ [633]$ Nilsson 轨道上, 旋称劈裂会很小. 带 3 较大的旋称劈裂意味着其组态中混入了较强的 $\Omega = 1/2$ 的成份. 在研究 ¹⁷⁹Pt 周围奇中子核基于 $i_{13/2}$ 轨道转动带旋称劈裂现象时, 理论计算指出可能是由于三轴形变或十六极形变增强了该带中 $\Omega = 1/2$ 的成份, 从而导致了较大的旋称劈裂^[2,3,17,19].

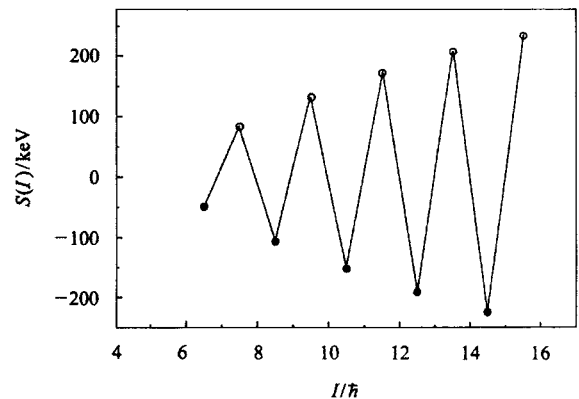


图 5 带 3 旋称劈裂随转动频率的变化关系

4 总结

通过重离子诱发的熔合蒸发反应研究了 ¹⁷⁹Pt 集体转动带的性质. 本工作建立了 ¹⁷⁹Pt 的 3 条转动带. 通过比较奇 A Pt 核和 $N = 101$ 的同中子素能级结构的系统性, 我们建议了这 3 条转动带的组态分别为 $1/2^- [521]$, $5/2^- [512]$ 和 $7/2^+ [633]$. 实验观测

到 $1/2^- [521]$ 转动带在 $\hbar\omega = 0.27\text{MeV}$ 附近顺排角动量突然增大, 中子 AB 交叉可能是导致该现象发生

的原因. 并指出 $7/2^+ [633]$ 转动带具有较大的旋称劈裂, 可能是由于三轴形变或十六极形变造成的.

参考文献 (References)

- 1 Dracoulis G D, Fabricius B, Bark R A et al. Nucl. Phys., 1990, **A510**:533
- 2 Nyberg J, Johnson A, Carpenter M P et al. Nucl. Phys., 1990, **A511**:92
- 3 De Voigt M J A, Kaczarowski R, Riezobos H J et al. Nucl. Phys., 1990, **A507**:447
- 4 Kodev F G, Carpenter M P, Janssens R V F et al. Nucl. Phys., 2001, **A682**:487
- 5 Dracoulis G D, Stuchbery A E, A P Byrne et al. J. Phys., 1986, **G12**:L97
- 6 De Voigt M J A, Kaczarowski R, Riezobos H J et al. Nucl. Phys., 1990, **A507**:472
- 7 Popescu D G, Waddington J C, Cameron J A et al. Phys. Rev., 1997, **C55**:1175
- 8 Carpenter M P, Bingham C R, Courtney L H et al. Nucl. Phys., 1990, **A519**:125
- 9 Hebbinghaus G, Kutsarova T, Gast W et al. Nucl. Phys., 1990, **A514**:225
- 10 Le Blanc F, Lunney D, Obert J et al. Phys. Rev., **C60**:154310
- 11 Hagberg E, Hansen P G, Hornshoj P et al. Nucl. Phys., 1979, **A318**:29
- 12 Schrewe U J, Tidemand-Petersson P, Goudy G M et al. Phys. Lett., 1980, **91B**:46
- 13 Mailloux J, Etude la Structure Nucleaire a Haut Spin du ¹⁷⁸Pt et ¹⁷⁹Pt, Thesis, Univ. de Montreal, 1990
- 14 ZHANG C T, Bhattacharyya P, Daly P et al. Nucl. Phys., 1998, **A628**:386
- 15 ZHENG Yong, ZHOU Xiao-Hong, LIU Min-Liang et al. HEP & NP, 2002, **26**(9):909 (in Chinese)
(郑勇, 周小红, 柳敏良等. 高能物理与核物理, 2002, **26**(9):909)
- 16 Walker P M, Dracoulis G D, Johnston A et al. J. Phys. G: Nucl. Phys., 1978, **4**(10):1655
- 17 Dracoulis G D, Fahlander C, Byrne A P et al. Nucl. Phys., 1983, **A401**:490
- 18 Varnette P G, Shidot D T, MA W C et al. Phys. Lett., 1997, **B410**:103
- 19 Frauendorf S, May F R. Phys. Lett., 1983, **B125**:245

Study of Collective Rotational Bands in ¹⁷⁹Pt*

XU Yan-Bing ZHOU Xiao-Hong¹⁾ SONG Li-Tao GUO Ying-Xiang SUN Zhi-Yu

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

M. Oshima T. Toh A. Osa M. Koizumi J. Katakura Y. Hatsukawa M. Matsuda

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

M. Sugawara

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

Abstract High-spin states in ¹⁷⁹Pt have been studied experimentally using the ¹⁴⁹Sm(³⁵Cl, p4n) fusion-evaporation reaction at beam energies of 164—180MeV. Measurements of γ -ray excitation function, X- γ coincidences and γ - γ -t coincidences were carried out with 13 BGO(AC) HPGe and 3 LOAX detectors. Based on the measured results, three rotational bands built on intrinsic states assigned to the $1/2^- [521]$, $5/2^- [512]$ and $7/2^+ [633]$ Nilsson configurations have been established for ¹⁷⁹Pt. It has been observed that the aligned angular moment in the $1/2^- [521]$ band increases suddenly around $\hbar\omega = 0.27\text{MeV}$. The big signature splitting has been observed in the $7/2^+ [633]$ band. These phenomena are discussed by referring to the systematics of the level structure in the Pt isotopes and isotones of ¹⁷⁹Pt.

Key words in-beam γ -ray spectroscopy, rotational band, signature splitting

Received 23 September 2003

* Supported by National Natural Science Foundation of China (10005012), Major State Basic Research Development Program (TG2000077400)

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