

文章编号: 1007-4627(2006)01-0013-05

$^{176, 178}\text{Os}$ 新低位激发态的识别*

王华磊^{1,2}, 张玉虎^{1,2}, 周小红¹, 郭应祥¹, 雷祥国¹, 徐树威¹, 谢元祥¹,
郑勇¹, 柳敏良¹, 邢焯炳¹, 谢成营¹, 宋立涛¹, 郭文涛¹, T. Hayakawa³,
M. Oshima³, Y. Toh³, J. Katakura³, Y. Hatssukawa³, M. Matsuda³, N. Shinohara³,
T. Ishii³, H. Kusakari⁴, M. Sugawara⁵, T. Komatsubara⁶

(1 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan;

4 Chiba University, Inage-ku, Chiba 263-8512, Japan;

5 Chiba Institute of Technology, Narashino Chiba 275-0023, Japan;

6 Institute of Physics and Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan)

摘要: 利用在束实验产生具有 β^+ / EC 衰变性质核素 $^{176, 178}\text{Ir}$, 分析了在束实验条件下获得的 γ - γ 符合数据, 识别出了 ^{176}Os 的 4 条新能级和 13 条新 γ 跃迁、 ^{178}Os 的 5 条新能级和 14 条新 γ 跃迁。藉助氦喷嘴快速带传输系统, 进一步对 ^{176}Ir 的 β^+ / EC 衰变进行了测量; 在确认在束测量新 γ 射线的同时建议了 ^{176}Ir 的一个低自旋同核异能态。通过两准粒子耦合的半经验计算, 建议了 $^{176, 178}\text{Ir}$ 基态及同核异能态的组态。

关键词: 低位能级纲图; 在束测量; 半衰期

中图分类号: O571.22 **文献标识码:** A

1 引言

偶偶核低位态能级结构可以帮助人们揭示原子核形状、准粒子自由度与集体自由度的竞争等核结构特征, 还可以有效地检验壳模型。在稀土区人们在偶偶核 Pt, Os 和 W 等同位素中系统地观测到了 β , γ 和八极振动等现象, 这引起了人们对这一区域核素低位态研究的很大兴趣。由于通常采用的重离子熔合蒸发反应对原子核低位态, 尤其是非晕态的布居不利, 像 $^{176, 178}\text{Os}$ 这样的偶偶核低位能级结构的研究一般都通过奇奇核的 β^+ / EC 衰变来进行。 $^{176, 178}\text{Os}$ 的衰变母核 $^{176, 178}\text{Ir}$ 位于形变核向球形核过渡的稀土区, 受形变及复杂相互作用的影响, 在该区域费米面附近的尼尔逊能级非常接近, 它们的两个未成对价核子可以出现众多的耦合方式, 所以人们就可能得到原子核不同自旋宇称值的两准粒子

态, 再考虑奇奇核一般具有大的衰变能, 衰变子核的较高自旋和能量值的激发态便有机会得到较强的布居。另外, 通过衰变子核低位能级结构还可以研究母核的基态和同核异能态的性质。

本工作在前人研究的基础^[1]上进一步丰富了 $^{176, 178}\text{Os}$ 的低位能级结构, 并建议了衰变母核的基态以及同核异能态的组态构成, 对母核衰变半衰期做了系统比较。

2 实验测量

$^{176, 178}\text{Ir}$ β^+ / EC 衰变延迟 γ 射线的在束测量实验是在日本原子力研究所(JAERI)串列静电加速器实验室完成的。用加速器提供的 ^{31}P 束流分别轰击 $^{149, 152}\text{Sm}$ 同位素靶, 产生了具有 β^+ / EC 衰变性质的母核 $^{176, 178}\text{Ir}$, 由 11 个带有 BGO 反康普顿抑制

收稿日期: 2005-06-20; 修改日期: 2005-09-08

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10025525, 10375077, 10221003); 国家重点基础研究发展规划资助项目(TG2000077400); 中国科学院基金资助项目

作者简介: 王华磊(1977-), 男(汉族), 河南内黄人, 在读博士, 从事核物理研究; E-mail: hlwang@impcas.ac.cn

的高纯锗探测器阵列进行了在束 γ 测量。这种直接在束产物为放射源进行测量的方法可以得到较高的统计, 但 γ 射线的沾污也相对较大, 并且不能提取出母核的衰变半衰期, 所以我们在中国科学院近代物理研究所的兰州重离子加速器上对 ^{176}Ir 的衰变进行了实验研究。由 SFC 引出的 ^{35}Cl 束流轰击 ^{146}Nd 同位素自支撑靶, 产生目标核 ^{176}Ir , 接着通过氮喷嘴带传输系统将反应产物传送到远离靶室的低本底区域, 由一台平面型高纯锗、一台同轴型高纯锗和一台 Segmented Clover 探测器进行时间和能量的单谱与符合测量。更详细的实验描述请参阅文献[2—4]。

3 结果与讨论

本工作对 $^{176, 178}\text{Os}$ 新 γ 射线和激发能级的识别主要基于与已知 γ 射线的符合关系、能量和与衰变半衰期的测量。

图 1 给出了 ^{178}Os 核几条 γ 射线的开门谱, 虽然 532.4 keV 的 γ 射线沾污较严重, 但仍可明显地看出它与 $2_{gs}^+ \rightarrow 0_{gs}^+$ 132.2 keV 的 γ 射线和 $3_7^+ \rightarrow 2_{gs}^+$ 899.7 keV 的 γ 射线相符合, 700 keV γ 射线与已

0_{gs}^+ 132.2 keV 的 γ 射线相符合, 而与 532.4 keV 的 γ 射线不符合, 所以 532.4 和 700 keV 的 γ 射线可能分别退激到了 3_7^+ 和 2_7^+ 的激发态, 并且他们的能量差正好等于 1 031.9 keV (3_7^+) 和 864.3 keV (2_7^+) 两个能级的差。这说明能量为 700.0 和 532.4 keV 的 γ 射线可能为同一个能级的两个分支, 这使我们相信 700.0 和 532.4 keV 新 γ 射线和 1 564.3 keV 新能级归属于 ^{178}Os 核。

通过仔细的研究分析我们指定了属于 $^{176, 178}\text{Os}$ 核的其它新 γ 射线和能级。图 2 和图 3 给出了本工作建立的 $^{176, 178}\text{Os}$ 的能级纲图。我们在 ^{176}Os 已有的能级纲图中添加了激发能位于 1 723.8, 1 929.5, 2 102.8 和 2 138.3 keV 的 4 个能级以及能量为 671.5, 706.5, 742.3, 982.0, 1 077.5, 1 112.8, 1 328.5, 1 361.5, 1 396.0, 1 534.2, 1 707.5, 1 743.5 和 1 794.5 keV 的 13 条 γ 跃迁, 在 ^{178}Os 已有的能级纲图中识别出了激发能位于 1 332.8, 1 564.3, 1 603.2, 1 962.3 和 1 975.2 keV 的 5 个新能级以及能量为 270.4, 300.9, 372.0, 398.0, 468.5, 532.4, 545.9, 571.3, 700.0, 749.3, 793.3, 832.2, 943.3 和 952.0 keV 的 14 条新 γ 射线。纲图中标明了各个能级和相应各条跃迁的能量值, γ 射线的粗细代表其相对强度的大小。

考虑新发现的激发态能级退激的 γ 射线的特征 (如这些 γ 射线有的是高能的, 与正电子湮灭所产生的 511.0 keV 的 γ 射线有较强的符合关系, 并且在 $^{176, 178}\text{Os}$ 在束高自旋态研究^[5] 中没有被观测到等), 我们认为这些新的能级可能是高位非晕态能级, 实验采用的重离子熔合蒸发反应只易于布居原子核的晕态和近晕态能级, 所以这些新的激发态极有可能来自于 $^{176, 178}\text{Ir}$ 核的衰变, ^{176}Ir 衰变实验的测量进一步肯定了我们的这一认识^[4]。由于本工作对衰变子核 $^{176, 178}\text{Os}$ γ 射线的测量主要是在束进行的, 参考相应反应道的激发函数测量^[2, 3], 不能排除在束产生 $^{176, 178}\text{Os}$ 的 γ 射线的干扰, 尤其是晕态能级的退激, 所以我们无法提取出衰变能级的 $\log ft$ 值, 而衰变核又不像在束产生的核那样具有高度的取向性, 也无法从实验数据中提取出相应 γ 跃迁的 DCO 系数^[6] 或 ADO 系数^[7], 这里我们尚不能判定新能级的自旋和宇称值。图中标出的自旋和宇称采用了文献^[1] 的结果。此外, 以前人们在邻近的 W ^[8] 和 Pt ^[9] 同位素中也发现了此处与其非常类

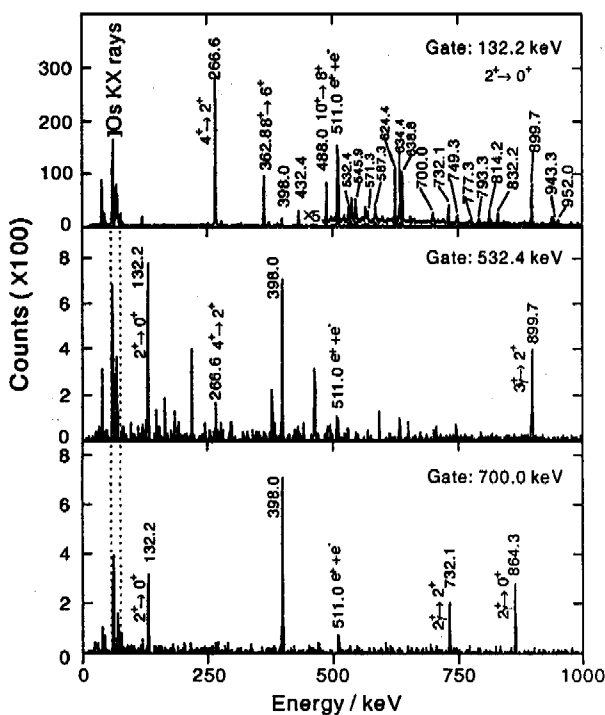


图 1 ^{178}Os γ 射线的开门谱

知的 $2_7^+ \rightarrow 2_{gs}^+$ 732.1, $2_7^+ \rightarrow 0_{gs}^+$ 864.3 keV 以及 $2_{gs}^+ \rightarrow$

似的一些激发能级。

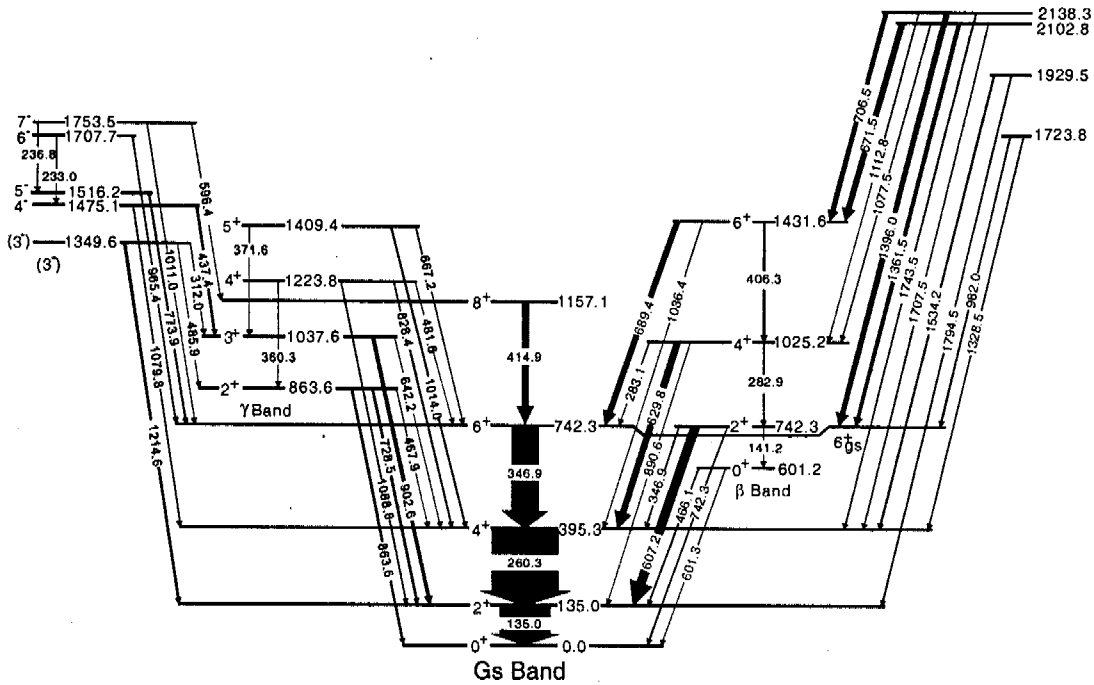


图 2 本工作建立的 ^{176}Os 低位能级纲图

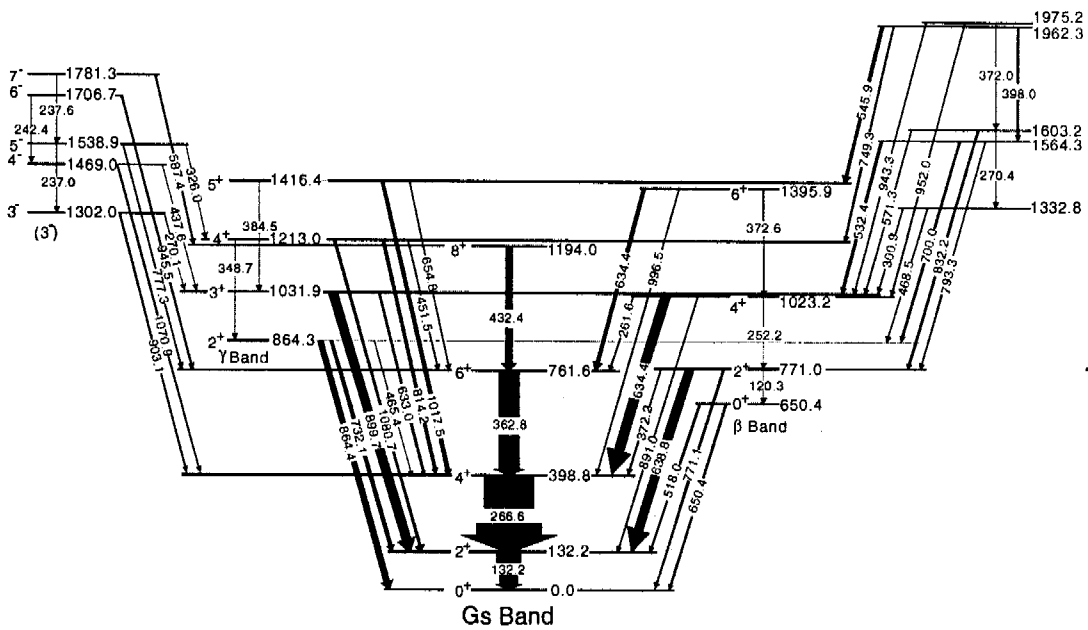


图 3 本工作建立的 ^{178}Os 低位能级纲图

通过 ^{176}Ir 核衰变 γ 射线的时间谱我们还建议了 ^{176}Ir 核的一个新的同核异能态^[4]。我们知道,原子核衰变的时间信息是与其衰变几率相联系的,进而与核衰变的初、末态波函数及衰变能相关。图 4 给出了 $A=180$ 核区奇 Z 核 Ta, Re, Ir, Au 和 Tl 衰变能和半衰期随质量数 A 的变化趋势。图 4 (b)

中空符号表示已发现该核素还存在一个同核异能态。从图 4 可以看出,衰变能和半衰期均呈现出很好的系统性,奇 A 核与双奇核都随着质量数(中子数)的递增衰变能逐渐减小,衰变半衰期逐渐增大,即在缺中子方向一侧随着向稳定线的靠近,原子核的稳定性逐渐增加。并且从图 4 (b)的系统性分析

看出, 在¹⁷⁶Ir 中存在一个同核异能态也是合理的。

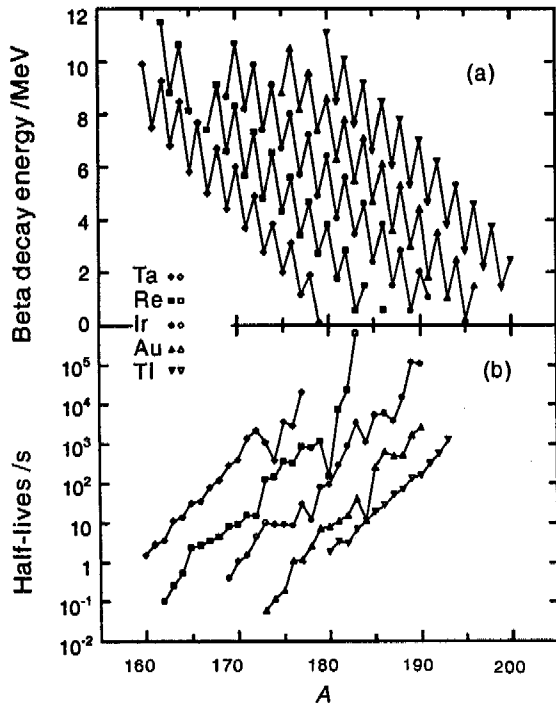


图 4 衰变能(a)和半衰期(b)随质量数 A 的变化

对于像^{176, 178}Ir 这样的奇奇核, 其低位能级密度较高, 跃迁到基态的射线不易被观测到, 这给指定基态自旋和宇称值带来很大不便, 人们一般可以结合 β 跃迁的选择定则^[10], 通过衰变测量和根据邻近奇 A 核带头激发能进行两准粒子耦合的半经验计算^[11]来推断。在本工作之前, 人们已经建议了¹⁷⁶Ir核的基态 J^π 为 5^+ , 其组态为 $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^- [512]$ 或 $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 1/2^- [521]$ ^[12], 而关于¹⁷⁸Ir同位素其基态自旋和宇称以及组态都没有报道。图 5 给出了该核区 Os, Ir 和 Pt 同位素奇 A 核带头激发能的变化情况。在零级近似^[13]条件下且不考虑 Gallagher-Moszkowski(GM)劈裂^[14], 采用半经验方法可以计算出相应两准粒子态的带头激发能位置, 并进一步认为能量最低的带头极有可能是衰变母核的基态, 能量与基态相近而自旋相差较大的带头可能形成同核异能态。鉴于上述分析并考虑 $\pi 1/2^- [541]$ 的带头为 $5/2^-$ ^[10], 我们认为¹⁷⁶Ir 的基态最佳组态为 $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^- [512]$, J^π 值为 5^+ , 其低自旋同核异能态的组态可能是 $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 1/2^- [521]$ 或 $\pi 9/2^- [514] \otimes \nu 5/2^- [512]$ 。对于¹⁷⁸Ir 其基态组态构成最可能是 $\pi 1/2^- [541] \otimes$

$\nu 1/2^- [521]$, J^π 值为 2^+ 或 3^+ , 但是考虑衰变纲图, 已观测到 7^- 和 8^+ 态, 母核 2^+ 或 3^+ 态衰变到如此高自旋激发态的几率非常小。所以, 我们推测¹⁷⁸Ir 还存在一个高自旋的同核异能态, 其组态可能是 $\pi 1/2^- [541] \otimes \nu 5/2^- [512]$, J^π 为 5^+ , 这很可能是随着中子数的增加¹⁷⁶Ir 和¹⁷⁸Ir 的基态和同核异能态的位置发生了变化, 但这有待于进一步从实验上进行验证。

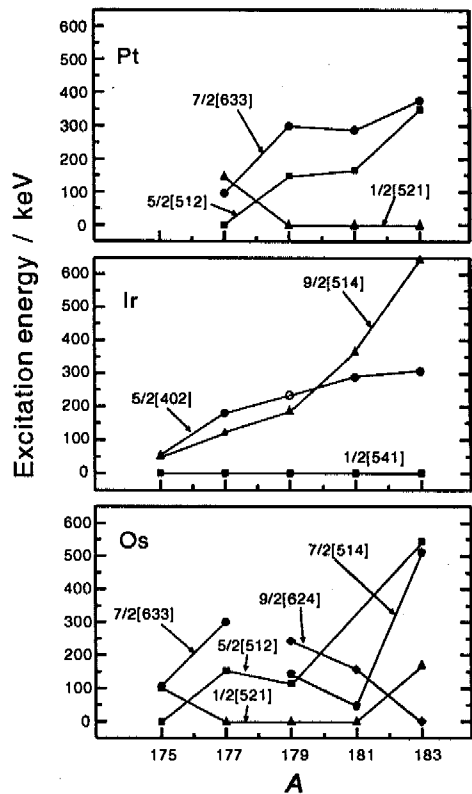


图 5 Os, Ir 和 Pt 同位素奇 A 核带头激发能随质量数 A 的变化

4 结论

本工作识别出了¹⁷⁶Os 的 4 条新能级和 13 条新 γ 射线、¹⁷⁸Os 的 5 条新能级和 14 条新 γ 射线, 建立了^{176, 178}Os 核更为详细的低位能级纲图, 并进一步建议了衰变母核^{176, 178}Ir 基态和同核异能态的组态及自旋宇称值。在实验方法上印证了利用在束实验所产生的核素为放射源进行 β 延迟 γ 衰变测量方法的可行性和高效性, 但它也有不能给出衰变时间谱的缺点。

参 考 文 献:

- [1] Kibedi T, Dracoulis G D, Byrne A P, *et al.* Nucl Phys, 1994, **A567**: 183.
- [2] Zhang Y H, Oshima M, Toh Y, *et al.* Eur Phys J, 2002, **A13**: 429.
- [3] Zhang Y H, Hayakawa T, Oshima M, *et al.* Eur Phys J, 2000, **A8**: 439.
- [4] 王华磊, 张玉虎, 周小红等. 高能物理与核物理, 2006, **30** (30).
- [5] Dracoulis G D, Fahlander C, Fewell M P. Nucl Phys, 1982, **A383**: 119.
- [6] Li G S. Chin Phys Lett, 1999, **16**(11): 796.
- [7] 郑 勇, 周小红, 柳敏良等. 高能物理与核物理, 2002, **26** (9): 909.
- [8] Kibedi T, Dracoulis G D, Byrne A P, *et al.* Nucl Phys, 2001, **A688**: 669.
- [9] Davidson P M, Dracoulis G D, Kibedi T, *et al.* Nucl Phys, 1999, **A657**: 219.
- [10] Konopinski E J. Rev of Mod Phys, 1943, **15**: 209.
- [11] Zhang Y H, Hayakawa T, Oshima M, *et al.* Eur Phys J, 1999, **A5**: 345.
- [12] Bosch U, Koschel P, Schmidt-Ott W D, *et al.* Z Phys, 1990, **A336**: 359.
- [13] Cardona M A, Kreiner A J, Hojman D, *et al.* Phys Rev, 1999, **C59**: 1 298.
- [14] Jain A K, Sheline R K, Sood P C, *et al.* Rev of Mod Phys, 1998, **70**: 843.

Identification of New Low-lying Excited States in $^{176, 178}\text{Os}$ *

WANG Hua-lei^{1, 2}, ZHANG Yu-hu^{1, 2}, ZHOU Xiao-hong¹, GUO Ying-xiang¹, LEI Xiang-guo¹, XU Shu-wei¹,
 XIE Yuan-xiang¹, ZHENG Yong¹, LIU Min-liang¹, XING Ye-bing¹, XIE Cheng-ying¹, SONG Li-tao¹,
 GUO Wen-tao¹, T. Hayakawa³, M. Oshima³, Y. Toh³, J. Katakura³, Y. Hatssukawa³,
 M. Matsuda³, N. Shinohara³, T. Ishii³, H. Kusakari⁴, M. Sugawara⁵, T. Komatsubara⁶
 (1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*;
 2 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*;
 3 *Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan*;
 4 *Chiba University, Inage-ku, Chiba 263-8512, Japan*;
 5 *Chiba Institute of Technology, Narashino Chiba 275-0023, Japan*;
 6 *Institute of Physics and Tandem Accelerator Center, University of Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan*)

Abstract: The γ rays following the β^+/EC decay of $^{176, 178}\text{Ir}$ nuclei have been investigated using in-beam γ -ray experiment. A total of 4 new levels, 13 new γ transitions of ^{176}Os and 5 new levels, 14 new γ transitions of ^{178}Os were identified. In addition, with the aid of a helium-jet recoil fast tape transport system, the β^+/EC decay of ^{176}Ir was further studied, the above new γ rays were proved and an isomer was proposed in ^{176}Ir . By the semiempirical calculations of two-quasiparticle intrinsic states of odd-odd nuclei, the configurations of ground states and isomeric states were also proposed for $^{176, 178}\text{Ir}$.

Key words: low-lying level scheme; in-beam measurement; half life

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10025525, 10375077, 10221003); Major State Basic Research Development Program (TG2000077400); Chinese Academy of Sciences