

^{80}Rb 的旋称劈裂反转及负宇称带的回弯*

贺创业^{1,1)} 温书贤¹ 竺礼华¹ 王治民¹ 李广生¹ 马瑞刚¹ 吴晓光¹
袁观俊¹ 杨春祥¹ 王月² 张振龙² 孟锐² 陆景斌² 许瑞清³
肖树冬³ M. Oshima⁴ Y. Toh⁴ A. Osa⁴ M. Koizumi⁴ Y. Hatsukawa⁴
M. Matsuda⁴ T. Hayakawa⁴

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(清华大学物理系 北京 100084)

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

摘要 通过熔合蒸发反应 $^{65}\text{Cu} + ^{19}\text{F}$, $^{66}\text{Zn} + ^{18}\text{O}$ 及 $^{68}\text{Zn} + ^{16}\text{O}$, 在 3 种入射束流的能量分别为 75MeV, 76MeV 及 80MeV 研究了 ^{80}Rb 高自旋态的能级结构. 增加了 20 多条新的 γ 跃迁, 在已知负宇称转晕带上建立了两条新的边带. 将原有的第二条负宇称带的自旋态从 $12^{-}\hbar$ 推高到了 $22^{-}\hbar$, 并首次观察到这个带的回弯, 它的回弯频率为 0.49MeV; 负宇称转晕带在 $15^{-}\hbar$ 时出现了旋称反转, 第二负宇称带存在明显的旋称劈裂, 但没有观察到旋称反转, 这两条负宇称带的结构均与其同中子数核 ^{82}Y 非常相似.

关键词 高自旋态 回弯 转晕带 旋称劈裂反转

1 引言

在质量数为 80 核区, 原子核显示了很强的单粒子性和集体性的竞争. 已有的研究表明, 在中子数小于 44 时原子核表现出很强的集体性, 而在中子数大于 47 时, 则表现出很明显的单粒子特征. 最近 80 区的缺中子奇-奇核引起了人们的关注, 在这方面的实验研究结果也很多. 例如: ^{76}Rb ^[1], ^{78}Rb ^[2], ^{78}Br ^[3] 和 ^{82}Y ^[4] 等. 我们这次的实验研究对象是 ^{80}Rb 核. ^{80}Rb 核有 43 个中子, 其结构应以集体性为主. S. K. Tandel^[5,6] 等曾用 $^{51}\text{V} (^{32}\text{S}, 2\text{pn})$ 反应对该核的高自旋态进行了研究. 他们将正宇称和负宇称转晕带的自旋分别推到 $25^{+}\hbar$ 和 $23^{-}\hbar$. 我们的目的是用比较轻的入射粒子布居较多的边带并研究它们的结构特征.

2 实验及结果

实验是在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器和日本原子力研究所的串列加速器上完成的. 我们选择了 3 种不同的反应来布居 ^{80}Rb 的高自旋态, 它们是 $^{65}\text{Cu} + ^{19}\text{F}$, $^{66}\text{Zn} + ^{18}\text{O}$ 及 $^{68}\text{Zn} + ^{16}\text{O}$, 入射束流的能量分别为 75, 76 和 80MeV. 用多个 HPGe-BGO 反康谱仪探测系统, 测量了 γ - γ 符合和 DCO 值. 实验中 ^{65}Cu , ^{66}Zn 和 ^{68}Zn 靶均为滚压而成的自支撑薄靶, 靶厚度分别为 560, 620 和 570 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. 将两层薄靶装在一个靶框上, 这样既可以提高产额又不会因为厚靶带来的多普勒效应而使得 γ 谱的能量分辨变坏. 在中国原子能院 HI-13 串列加速器上的测量用了 9 台 HPGe-BGO 反康谱仪. 在日本原子力所则用了 12 台 HPGe-BGO 反康谱仪, 这 12 台 HPGe-BGO 反

2002-11-28 收稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077405), 国家自然科学基金(19975069)资助

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

康谱仪的相对探测效率(⁶⁰Co, 1.332MeV)均在 40%—60% 之间. 谱仪放在对入射束流成 ±30°, ±60° 和 ±90° 位置. 在原子能院用前两个反应总共积累了约 200 百万个两重以上的符合事件. 在日本原子力所的实验中共获取了约 300 百万个两重以上的符合事件. 我们将前两个反应的数据建成了 γ-γ 二维矩阵. 将日本原子力所的实验数据经增益匹配后, 建成了 γ-γ 符合矩阵, DCO 比值矩阵、30°, 60°, 90° 角分布矩阵和 4 个不同时间的矩阵, 即离线总共建立了 9 个矩阵. 经过对⁸⁰Rb 的已知跃迁 γ 开窗, 除观察到所有的已知 γ 射线外, 还辨认出了 30 多条新的 γ 射线应该属于该核, 将其中的 20 多条 γ 跃迁

放入了能级纲图. 能级纲图如图 1 所示. ⁸⁰Rb 核的基态自旋和宇称前人工作已经确定^[1]. 在此基础上, 本次实验将正和负宇称转晕带的偶自旋序列分别增加了 4ħ, 并观察到一些边带跃迁. 在第一个负宇称带(图中的带 2)自旋为 11⁻ 和 13⁻ 的能级上还建立了两串 E2 跃迁, 这是以前所没有的. S.K.Tandel^[5,6] 等指出, ⁸⁰Rb 的第一负宇称带的组态可能是两准粒子组态 πf_{5/2} ⊗ νg_{9/2}, 在自旋为 15⁻ ħ 时, 由一对 g_{9/2} 的质子顺排回弯, 而第二回弯则由一对中子 g_{9/2} 顺排形成. 此外, 我们将第二个负宇称带(图中的带 3)的自旋从原来的 12⁻ 推高到了 22⁻, 开窗谱如图 2 所示. 并且我们还观察到了这个带的回弯.

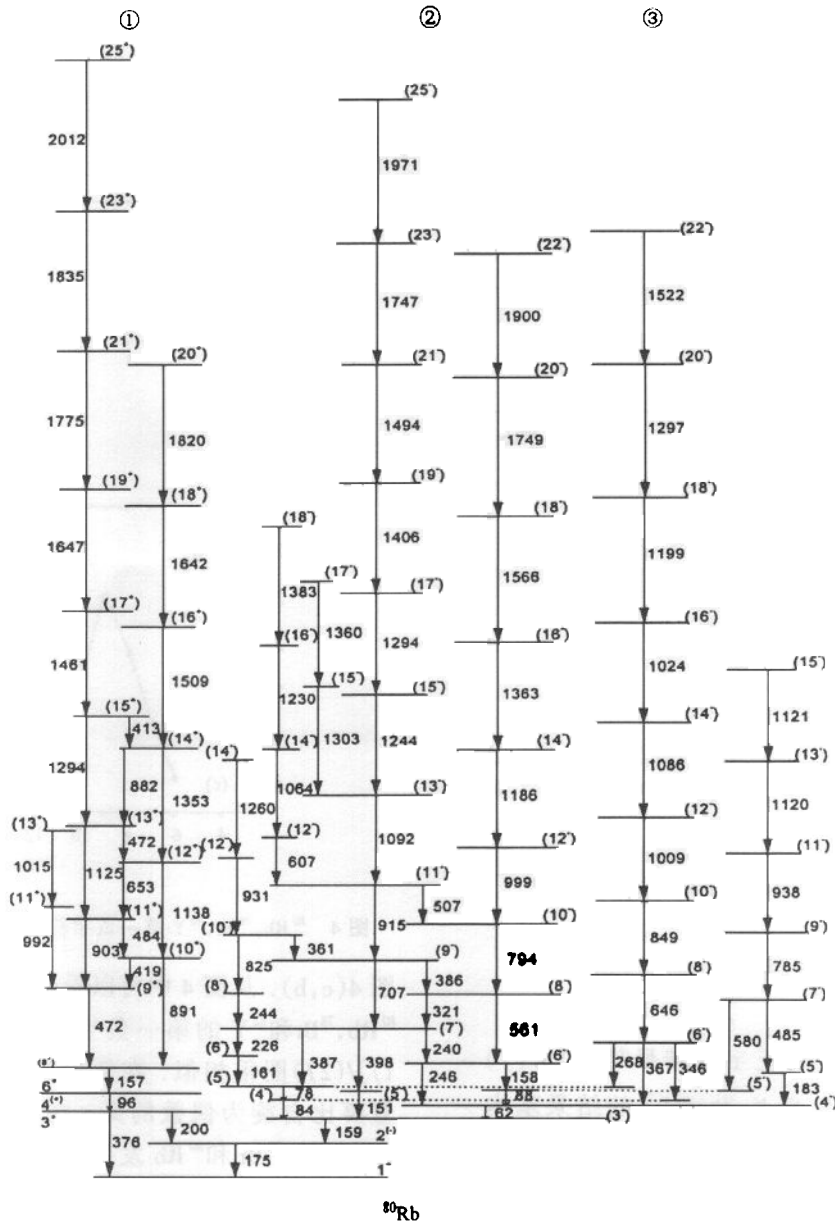


图 1 本工作建立的⁸⁰Rb 能级纲图

为了纲图的清晰, 我们适当地将低能 γ 跃迁进行了扩大.

特别指出, 6⁺ 态为同质异能态

它的回弯频率为 0.49MeV. 图 3 给出了 ^{80}Rb 及 ^{82}Y 第二个负宇称带的偶自旋序列角动量顺排比较. 可见它们的回弯频率也极其相近, ^{82}Y 的回弯频率为 0.47keV, 能量只相差了 0.02keV. 由于它们的角动量顺排图极其相似, 可以推断 ^{80}Rb 的第二负宇称带与 ^{82}Y 的第二负宇称带有相似的组态. ^{82}Y 的组态已被指定为 $\pi[f_{5/2}, p_{1/2}] \otimes \nu g_{9/2}$. 所以 ^{80}Rb 该带的组态也可能与此相同, 在频率 0.49MeV 处的回弯为一对 $g_{9/2}$ 的质子拆对顺排形成.

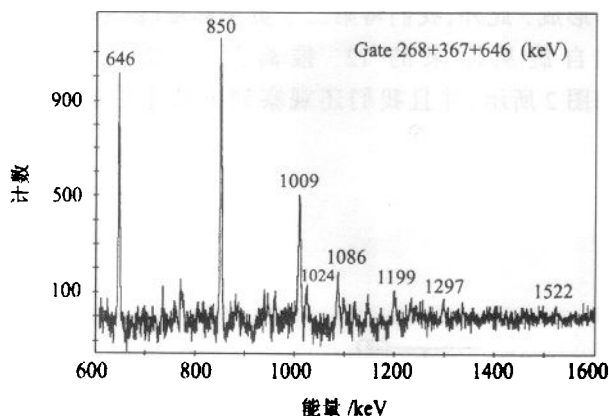


图 2 第二负宇称带的低位 γ 跃迁的开窗图

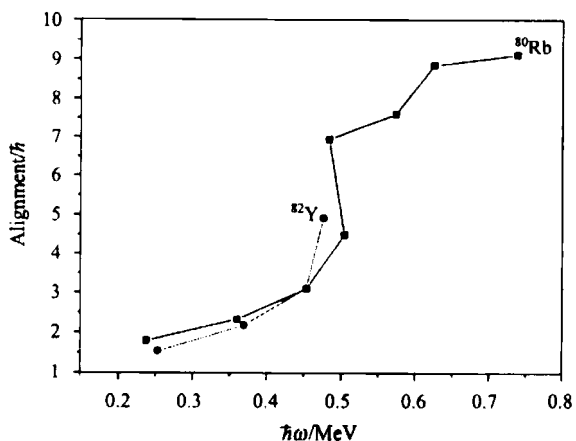


图 3 ^{80}Rb 和 ^{82}Y 的第二负宇称带的回弯比较

旋称劈裂及反转

从本工作中得到的正宇称转晕带的 $[E(I) - E(I-1)]/(2I)$ 图, 与 S. K. Tandel^[2] 的结果基本一样. 该带存在明显的旋称劈裂及反转, 在低自旋时奇自旋能量高, 在自旋 $11^+ \hbar$ 时发生旋称反转, 变成偶自旋能量高, 且旋称劈裂幅度随自旋增加而加大. 鉴于 Paul 和 Kaye 等^[4,6] 对 ^{80}Rb 及其邻核的正宇称转晕带的旋称劈裂及反转进行了详细的比较和讨论,

在本文中重点对 ^{80}Rb 的负宇称带的旋称劈裂及反转进行讨论, 并与相邻 $N = 43$ 的同中子数奇 - 奇核 ^{78}Br ^[3], ^{82}Y ^[4] 和同位素核 ^{78}Rb ^[5], ^{76}Rb ^[6] 的旋称劈裂及反转进行比较和分析.

^{80}Rb 的第一负宇称带的旋称劈裂及反转 $[E(I) - E(I-1)]/(2I)$ 图如图 4(a) 所示. 该图说明这条带有旋称劈裂, 并在自旋 $15^- \hbar$ 时发生旋称反转. 它的同中子数奇 - 奇核 ^{78}Br ^[3], ^{82}Y ^[4] 的第一负宇称带的旋称劈裂及反转 $[E(I) - E(I-1)]/(2I)$ 图如

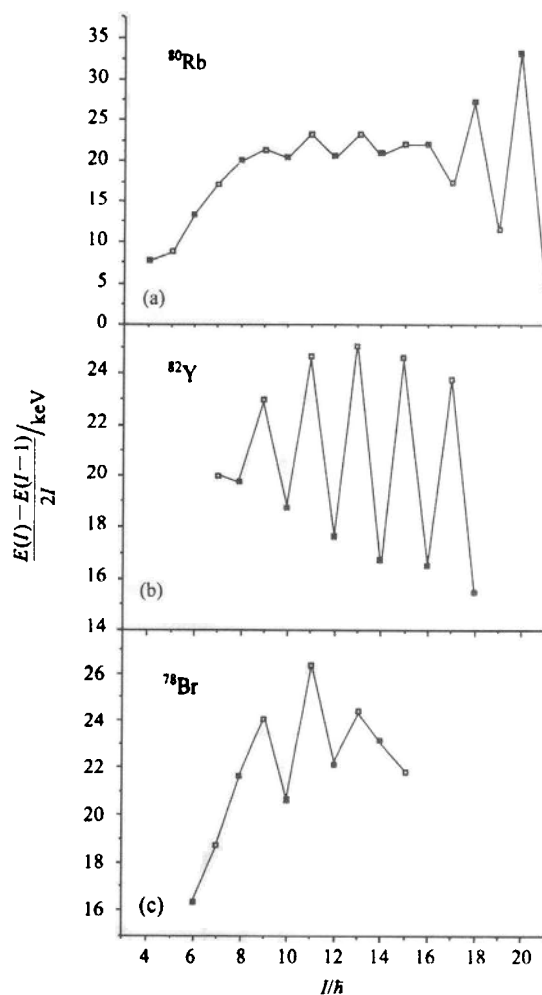


图 4 ^{80}Rb , ^{78}Br , ^{82}Y 第一负宇称带的旋称劈裂反转比较

图 4(c, b). 从图 4 中可以看出同中子数的奇 - 奇核 ^{80}Rb , ^{78}Br 和 ^{82}Y 的第一负宇称带的 $[E(I) - E(I-1)]/(2I)$ 图很相似. 在低自旋处, 自旋为奇数的能量要比自旋为偶数的高. 在自旋分别为 $14^- \hbar$ 和 $15^- \hbar$ 时, ^{78}Br 和 ^{80}Rb 发生了旋称反转后, 奇自旋的能量比偶自旋的能量低. 从图中还可以看出, 随着质子数的增加, 旋称反转出现了逐渐推迟的现象, 在 ^{82}Y 中直到自旋 $18^- \hbar$, 仍未观察到旋称反转. ^{78}Br 和 ^{80}Rb 核的第一负宇称带的旋称的劈裂及反转模式

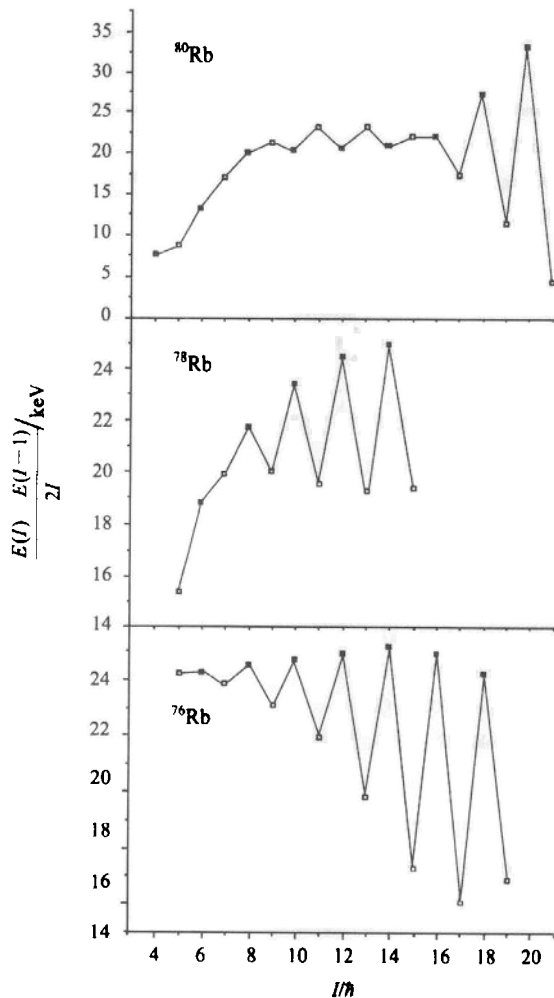


图 5 ⁸⁰Rb, ⁷⁸Rb, ⁷⁶Rb 第一负宇称带的旋称劈裂反转比较

与它们的正宇称转晕带的模式一样。在图 5 中可以看出,对于质子数相同,中子数不同的 Rb 奇-奇核,随着中子数的增加,旋称的劈裂程度逐渐减小。但是,⁸⁰Rb 的旋称劈裂模式与 ⁷⁶Rb, ⁷⁸Rb 不同,在自旋较低的能级中,它的奇自旋的能量比偶自旋的能量高,在旋称反转后,3 个核的偶自旋的能量都比奇自旋的能量高,而且劈裂也随着自旋的增加而逐渐变大。对于出现这种不同的原因有待进一步探讨,其中自旋的指定是否正确可能是值得考虑的原因之

由于在 ⁸⁰Rb 的同中子核中只有 ⁸²Y 建立了第二条负宇称转动带,所以图 6 只给出了这两条转动带的旋称劈裂。从图 6 可以看出除了在低自旋处稍微有些不同外,它们的旋称劈裂模式非常相似,同时与它们的正负宇称转晕带的旋称劈裂模式也是一致的。其中在低自旋(6⁻)处出现的旋称不同的原因可能是由于能量较低的那些能态中,γ 跃迁比较复杂。在好的集体转动带中,各能级能量应该遵循 $I(I +$

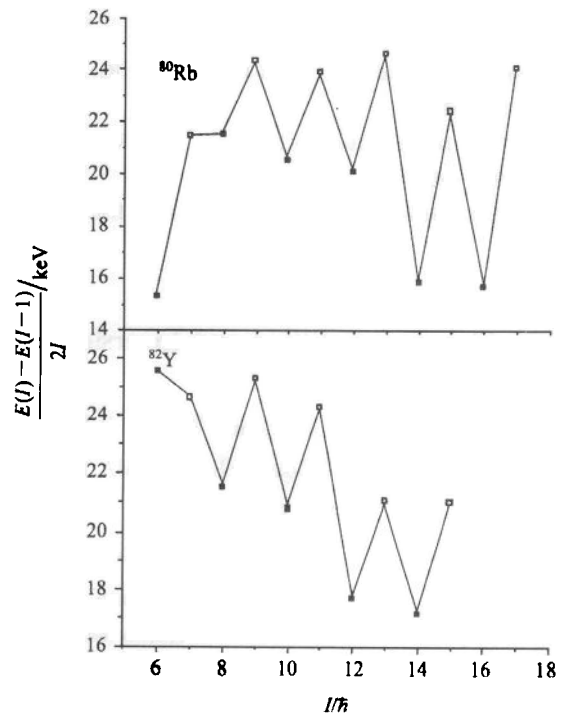


图 6 ⁸⁰Rb, ⁸²Y 的第二负宇称带的旋称劈裂反转比较

1) 的规律,而这些低能态 γ 跃迁的能量很小,低自旋态能级能量不能遵循 $I(I + 1)$ 的规律,还没有真正的进入这个转动带。到目前为止,在这两个核的第二条负宇称转动带中都未看到旋称反转。

4 总结

通过 ⁶⁵Cu + ¹⁹F, ⁶⁶Zn + ¹⁸O, 及 ⁶⁸Zn + ¹⁶O 反应,研究了 ⁸⁰Rb 的高自旋态。新增加了 20 多条 γ 跃迁。将 ⁸⁰Rb 的正负宇称带的能级分别往上推高了 4ħ, 还建立了两条发生在第一负宇称带上的边带跃迁。此外,我们还将第二负宇称带由原来的 12ħ 推高到了现在的 22ħ。并且首次发现了这个转动带的回弯现象,它的回弯频率为 0.49MeV。在所建立的 3 条带中都存在旋称劈裂。正宇称带和第一负宇称带分别在自旋为 11⁺ħ 和 15⁻ħ 发生旋称反转。我们还将它附近的同中子数核和它的同位素核作了旋称劈裂及反转比较。第一负宇称带中,对于同中子数的 3 个核 ⁷⁸Br, ⁸⁰Rb 和 ⁸²Y, 它们的旋称反转随着质子数的增加逐渐推迟;对于同位素核 ⁸⁰Rb, ⁷⁸Rb 和 ⁷⁶Rb, 它们的旋称劈裂模式是一致的。它的第二负宇称带的旋称劈裂模式与 ⁸²Y 及 ⁸⁰Rb 的正负转晕带的劈裂模式是一致的。

感谢中国原子能科学研究院串列加速器和制靶工作组的全体工作人员。

参考文献 (References)

- 1 Harder A, Kabadiyski M K, Lieb K P et al. Phys. Rev., 1995, C51 (6):2932—2941
- 2 Kaye R A, Döring J, Holcomb J W et al. Phys. Rev., 1996, C51 (3):1038—1056
- 3 Landolfo E, Winchell D F, Saladin J X et al. Phys. Rev., 1996, C54 (2):626—637
- 4 Paul S D, Jain H C, Chattopadhyay S et al. Phys. Rev., 1995, C51 (6):2959—2972
- 5 Tandel S K, Patel S B, Bhowmik R K et al. Nucl. Phys., 1998, A632:3—18
- 6 Döring J, Winter G, Funke L et al. [J]. Phys. Rev., 1992, C46: R2127

Signature Splitting and Inversion and Back Bending in Negative Sideband in $^{80}\text{Rb}^*$

HE Chuang-Ye^{1,1)} WEN Shu-Xian¹ ZHU Li-Hua¹ WANG Zhi-Min¹
 LI Guang-Sheng¹ MA Rui-Gang¹ WU Xiao-Guang¹ YUAN Guan-Jun¹
 YANG Chun-Xiang¹ WANG Yue² ZHANG Zhen-Long² MENG Rui²
 LU Jing-Bin² XU Rui-Qing³ XIAO Shu-Dong³ M. Oshima⁴ Y. Toh⁴
 A. Osa⁴ M. Koizumi⁴ Y. Hatsukawa⁴ M. Matsuda⁴ T. Hayakawa⁴

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

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

3(Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

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

Abstract High spin states of ^{80}Rb have been studied by using fusion evaporation reactions, $^{65}\text{Cu} + ^{19}\text{F}$, $^{66}\text{Zn} + ^{18}\text{O}$ and $^{68}\text{Zn} + ^{16}\text{O}$ with beam energies of 75MeV, 76MeV and 80MeV, respectively, at HI-13 Tandem accelerator Beijing and JAERI Japan. γ - γ coincidence and DCO ratios were measured by the HPGe detector systems. About twenty new γ transitions are added to the previously proposed level schema from the present experiments. The second negative band is pushed up from $12^- \hbar$ to $22^- \hbar$. A backbending at frequency of 0.49MeV is observed. Evidence has also been found for two hitherto unknown sidebands built on the negative yrast band. Signature splitting in both negative bands is observed. Signature inversion occurs only in the yrast negative band at spin of $15 \hbar$ and it is close to that of ^{82}Y . The plots of $[E(I) - E(I-1)]/(2I)$ vs I are given and compared with its isotones ^{78}Br and ^{82}Y as well as its isotopes ^{76}Rb and ^{78}Rb .

Key words high spin state, backbending, yrast band, signature splitting and inversion

Received 28 November 2002

* Supported by Major State Basic Research Development Program(G2000077405) and National Natural Foundation of China(19975069)

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