

^{84}Rb 的高自旋态研究*

韩广兵^{1,3} 温书贤¹ 刘祥安¹ 吴晓光¹ 李广生¹
袁观俊¹ 翁培昆¹ 杨春祥¹ 仝殿民³ 马英君² 陆景斌²

1 (中国原子能科学研究院核物理所 北京 102413)

2 (吉林大学物理系 长春 130023)

3 (山东师范大学物理系 济南 250014)

摘要 利用 75MeV 的 ^{18}O 束流,通过 $^{70}\text{Zn}(^{18}\text{O}, p3n)$ 反应布居了 ^{84}Rb 核的高自旋态,测量了激发函数, γ - γ 符合及 DCO 比值,新观察到了 40 个能级,50 多条 γ 跃迁,建立了到目前为止最完整的能级纲图,其正负宇称分别推高到了 17^+ 和 17^- . 通过与 Rb 各奇-奇同位素核和 $N = 47$ 的各奇-奇核比较,发现它们的结构非常相似.

关键词 高自旋态 γ - γ 符合 能级纲图

1 引言

在过去的几年里,我们系统研究了 $N = 47$ 的中重区双奇核的高自旋态,如 ^{90}Tc 、 ^{88}Nb 、 ^{86}Y 等,发现它们的结构极相似^[1],但这些核的质子数 Z 均大于 38,为了进一步了解 Z 小于 38 的情形,我们研究了 ^{84}Rb 的高自旋态. 根据壳模型理论, ^{84}Rb 对于半满壳 $Z = 38$ 有一个质子空穴,对于满壳 $N = 50$ 有 3 个中子空穴,因此其高自旋结构会比较复杂. C. Ekstron, V. Lakshminarayana, D. Bucurescu, S. Shastry 等人先后对 ^{84}Rb 的中低自旋态的结构进行了研究,特别是 J. Döring^[2]等利用 $^{83}\text{Kr}(\alpha, n)$ 以及 $^{82}\text{Se}(^6\text{Li}, 4n)$ 和 $^{80}\text{Se}(^7\text{Li}, 3n)$ 反应对其进行了较系统的研究,确认了两个新的 5^+ 和 5^- 的同质异能态以及 5^+ 态以上的各组态为 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$,但他们仅把自旋推高到 (10^+) 态. 为了系统研究这一区域 $N = 47$ 的奇奇核的结构,有必要把它的能级推得更高.

2 实验步骤及数据分析

^{84}Rb 的高自旋态是通过 $^{70}\text{Zn}(^{18}\text{O}, p3n)$ 反应布居的,所用靶为滚压而成厚约 $400\mu\text{g} / \text{cm}^2$

1998-07-14收稿

* 国家自然科学基金资助项目19635030和核工业基金资助

的自支撑薄靶, Doppler 展宽对峰分辨的影响很小, ⁷⁰Zn 的同位素纯度为 99.3%. 在实验中将两层靶叠起来用以增加反应产额. 在实验开始时, 先测量了停束后靶的放射性, 在放射性谱中发现了⁸⁴Rb 的同质异能态衰变的 248、216 以及 464keV 的 γ 射线, 因此确认了⁸⁴Rb 的生成. 然后用能量分别为 67、70、75、80、87MeV 的¹⁸O 束流做了 γ 激发函数. 最后在¹⁸O 束流的强度为 8—9nA, 束流能量约为 75MeV 时, 用 8 台 HPGe—BGO 谱仪及一台平面型高纯锗探测器测量了 γ - γ 符合, 各探测器分别放置在与束流方向成 35°、36°、39°、43°、81°、90°、102°、143° 及 159° 的位置, 以便在 γ - γ 符合数据中用 38° 附近的探测器 (35°、36°、39°、43°、143°) 和 90° 附近的探测器 (81°、90°、102°) 反演建立 DCO 两维矩阵, 提取 DCO 数据. 符合事件以逐个事件方式记录在磁带上, 共积累了大约 180×10^6 个符合事件.

3 建立⁸⁴Rb 的能级纲图

通过反演分类符合数据, 建立了 4096×4096 的两维矩阵, 其目的主要是研究⁸⁴Rb 的高自旋态. 图 1 给出了几个典型的开窗谱. 首先用 J. Döring 等人给出的能级纲图中 83keV 的 γ 跃迁开窗, 开窗谱如图 1(a) 所示. 从该谱中除看到 J. Döring 给出的所有的 γ 跃迁外, 还观察到了很多新的 γ 跃迁线. 逐一对 424、631、1055keV 等正宇称带的 γ 跃迁开窗, 除观察到了 J. Döring 所给的 γ 跃迁外还观察到了相当好的 1093、1379、1409、1658、1755keV 的高能 γ 射线, 及 578、638、668、741、1020keV 等较低能量的 γ 跃迁, 尤其应该指出的是 578keV 的 γ 跃迁是较强的, 相应的 1598keV γ 跃迁是比较弱的. 由 γ 跃迁强度及符合关系给出了 γ 跃迁级联顺序. 这些 γ 射线多极性的确定是基于 DCO 比率. 除了 1755keV 跃迁较弱外, 对这串 γ 跃迁都做了 DCO 比, 与⁸⁴Sr 比较确定了它们的 γ 跃迁多极性, 1055、1093、1409、1658keV 等为 $\Delta I = 2$ 的 γ 跃迁, 而 578、638、668、741keV 为 $\Delta I = 1$ 的 γ 跃迁, 据此建立了如图 2 的正宇称带.

在图 1(a) 中除上述的 γ 跃迁外, 还有很强的 185、325、409、488、719keV γ 跃迁. 图 1(b) 给出了 185keV 的 γ 跃迁开窗谱. 对各射线逐一开窗, 确认了图中带 * 号的射线属于其它反应道的核而不属于⁸⁴Rb. 由各符合关系确定了图 2 中 D、E 两带的跃迁顺序.

但这些级联与 83keV 之间的位置关系又是怎样的呢? 由图 1(b) 知 631 与 185keV 无级联, 而与 224、558keV 等有级联. 经过对 185 和 83keV 的开窗谱进行比较, 发现了它们共有的较高能的 1167 和 1064keV 的 γ 跃迁及低能的 120keV, 初步认定它们把 185 与 83keV 的 γ 跃迁连接了起来, 再对 1167 和 1064、120keV 的 γ 跃迁开窗, 也证明了这一点. 185keV γ 跃迁末态能级自旋是由 1167、1064、460keV 等 DCO 值确定的, 而它的宇称则是考虑到 γ 跃迁强度与 yrast 关系及与⁸²Rb 的比较, 倾向性的建议为负. 1167keV γ 跃迁多极性可能为 E1 或 E2, 本工作选择 E1 是出于 yrast 附近 γ 跃迁的特性, 从跃迁强度看 1055keV γ 跃迁应比 1167keV 更接近 yrast, 所以选了 E1.

图 1(b) 中剩下的强线还有 214、472 及 155keV 等 γ 跃迁, 在 214keV 的 γ 跃迁开窗谱中看到了 152、472、1275、1295keV 等 γ 跃迁, 在 224、438、558keV 等的开窗谱中也看到了明显的 214 及 472keV 的 γ 跃迁, 由此知 214keV 的位置在 185keV γ 跃迁的下方. 经过对 185、

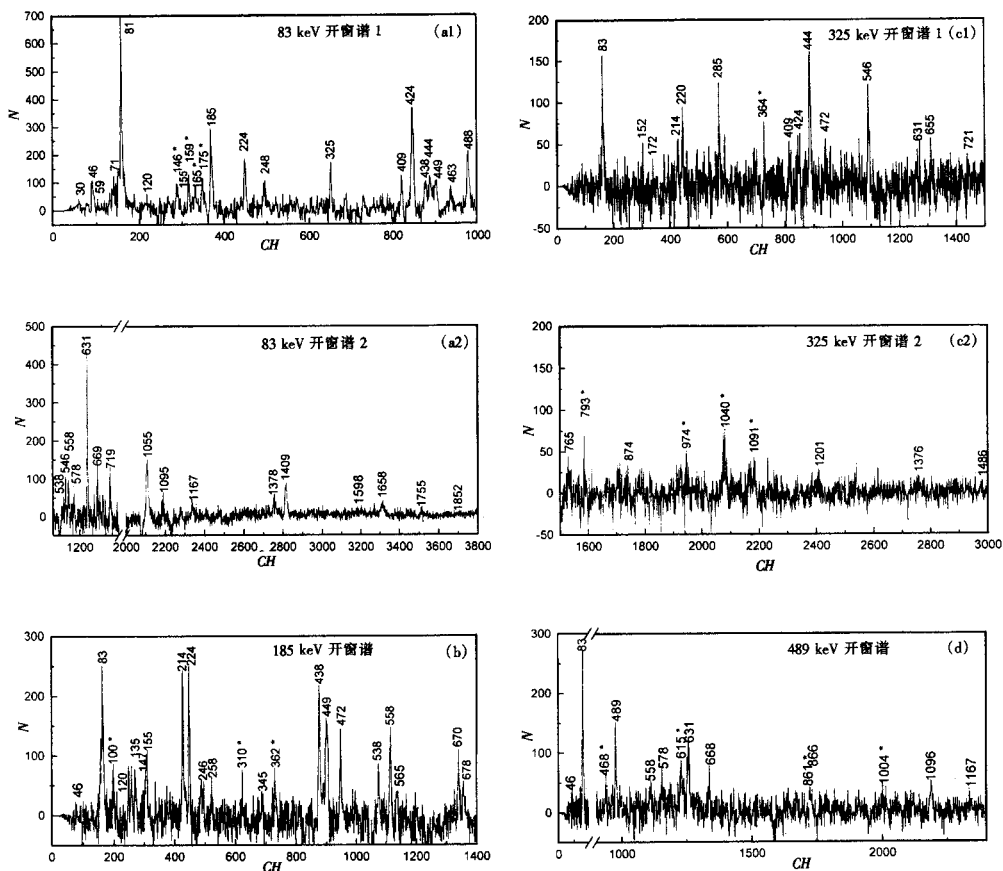


图1 以83、185、325、489keV γ 跃迁开窗所得谱图(能量单位为keV)

* 不属于 ^{84}Rb .

214、472keV等 γ 跃迁的开窗谱比较,在214keV的下方建起了152、246、1275、565keV的 γ 级联跃迁,在472keV的 γ 跃迁下方建起了1295、460keV等的级联跃迁.另外在185和472keV的 γ 跃迁开窗谱中,都看到了很好的155和59keV的 γ 跃迁.依据以185和538keV γ 跃迁的开窗所得的DCO比(R_{DCO}),可知214、224、472、558keV等的跃迁多极性为 $\Delta I = 1$ 的 γ 跃迁,所以给出了如图2的自旋和宇称.

图1(c)给出了325keV的 γ 跃迁开窗谱.可以看到83、444、546keV等很强的 γ 跃迁.经过对它们逐一开窗比较,确立了跃迁顺序,如图2中C带.409keV的开窗谱虽然较复杂,但却有较好的83、631、1376及220、224、325keV等 γ 跃迁,由此确定了409、1376、631、83间的级联关系,以及通过120keV的 γ 跃迁与224、438、558keV等 γ 跃迁的级联.通过不同的开窗得到了220、325、444、546keV等 γ 跃迁DCO比值,倾向性的确定了它们的宇称和自旋,并定为 $\Delta I = 1$ 的 γ 跃迁.

图1(d)给出了以489keV的 γ 跃迁开窗谱,仔细辨认,找到较好的位于1167与488keV两 γ 跃迁间72keV的 γ 跃迁.另外在图中还有较好的668keV γ 跃迁,可以预知489与668keV的 γ 跃迁间有3keV的 γ 跃迁,这一点可以由424和1055keV的开窗谱中能看到

489keV γ 跃迁给予证明, 在 489keV 的开窗谱中 578keV 的 γ 跃迁比较强, 因为 489keV 与 1658keV 间有 248keV 的 γ 跃迁的缘故.

表1 ^{84}Rb 的能级及 γ 跃迁的 DCO 比 (能量单位: keV)

E_x	E_γ	I_i	I_f	R_{DCO}	E_x	E_γ	I_i	I_f	R_{DCO}
620	46	7^+	6^+	1.13 ^{a)}	467	219	5^-	3^-	0.36 ⁿ⁾ , 0.57 ^{m)}
544	81	5^+	6^-	0.94 ^{a)}	1074	460	(7^-)	(6^-)	0.78 ^{a)}
703	83	8^+	7^+	1.08 ^{b)}	2368	1294	(9^-)	(7^-)	
1334	631	9^+	8^+	0.47 ^{b)}	2840	472	(9^-)	(9^-)	0.61 ^{b)}
1758	424	10^+	9^+	1.31 ^{c)}	3054	214	(9^-)	(9^-)	1.18 ^{b)}
1758	1055	10^+	8^+	1.90 ^{d)}	3054	155	(10^-)	(9^-)	0.79 ^{b)}
2426	1093	11^+	9^+	0.63 ^{d)}	3239	185	(11^-)	(10^-)	1.00 ^{d)}
3167	1409	12^+	10^+	1.61 ^{d)}	3463	224	(12^-)	(11^-)	1.08 ^{b)}
4825	1658	14^+	12^+	2.16 ^{d)}	3901	438	(13^-)	(12^-)	0.77 ^{b)}
6677	1852	16^+	14^+	0.48 ^{d)}	3797	558	(12^-)	(11^-)	0.53 ^{b)}
5403	1598	15^+	13^+	0.53 ^{d)}	4246	449	(13^-)	(12^-)	0.88 ^{b)}
7158	1755	17^+	15^+	2.11 ^{d)}	4697	451	(14^-)	(13^-)	
1870	1167	$9^{(+)}$	8^+	0.82 ^{d)}	4439	538	(14^-)	(13^-)	0.77 ^{b)}
2709	1376	$11^{(+)}$	$9^{(+)}$	0.63 ^{d)}	5367	670	(15^-)	(14^-)	1.01 ^{g)}
3119	409	$11^{(+)}$	$11^{(+)}$	0.27 ^{e)}	5117	678	(15^-)	(14^-)	1.00 ^{g)}
2919	489	$11^{(+)}$	$11^{(+)}$	0.56 ^{e)}	5975	858	(16^-)	(15^-)	0.94 ^{g)}
2430	488	$11^{(+)}$	$10^{(+)}$	2.67 ^{e)}	3339	220	(10^-)	(11^+)	0.76 ^{k)}
2430	1096	$11^{(+)}$	9^+	1.14 ^{e)}	3664	325	(11^-)	(10^-)	1.16 ^{j)}
2934	1064	$10^{(+)}$	$9^{(+)}$	0.80 ^{h)}	4108	444	(12^-)	(11^-)	0.98 ^{k)}
3785	866	$12^{(+)}$	$11^{(+)}$	0.29 ^{f)}	4654	546	(13^-)	(12^-)	1.20 ^{k)}
602	135	(6^-)	5^-		5309	655	(14^-)	(13^-)	
1167	565	(6^-)	(5^-)		6030	721	(15^-)	(14^-)	
1413	246	(7^-)	(6^-)	0.84 ^{m)}	6795	765	(16^-)	(15^-)	
2688	1275	(9^-)	(7^-)	0.40 ^{b)}	7669	874	(17^-)	(16^-)	
					2840	152	(9^-)	(9^-)	

- a) 以 83keV 的 γ 跃迁开窗, b) 以 1093keV 的 γ 跃迁开窗, c) 以 631keV 的 γ 跃迁开窗,
d) 以 83keV 的 γ 跃迁开窗未去本底, e) 以 489keV 的 γ 跃迁开窗, f) 以 1096keV 的 γ 跃迁开窗,
g) 以 538keV 的 γ 跃迁开窗, h) 以 185keV 的 γ 跃迁开窗, k) 以 325keV 的 γ 跃迁开窗,
l) 以 546keV 的 γ 跃迁开窗, m) 以 135keV 的 γ 跃迁开窗, n) 以 147keV 的 γ 跃迁开窗.

通过对 $^{80, 82, 84}\text{Rb}$ 的结构进行比较, 以及 J. Döring 的建议, 由系统学规律将 83, 424, 631, 1055, 1409keV 等 γ 跃迁定为正宇称, 如图 2 所示. 而由于 185, 214, 472keV 等 γ 跃迁与低激发态的负宇称 γ 跃迁有级联, 因此我们把 185keV 上下的 γ 跃迁暂定为负宇称. 从图 1(a) 可看出, 它们与正宇称间跨越的 1096, 1167, 1376keV 的 γ 跃迁强度不弱, 再由表 1 中它们的 DCO 比, 把它们定为 E2 的 γ 跃迁. 根据 DCO 比, 把 409, 488, 489, 866, 1064keV 等 γ 跃迁定为正宇称的跃迁. 另一方面从 409keV 的开窗谱中较弱的 220keV 和 185keV 的

开窗谱中较弱的 120keV 的 γ 跃迁也能说明这一点, 由此把 325、444、546keV 等 γ 跃迁定为负宇称的 γ 跃迁. 这样我们初步定出了各能级的自旋和宇称.

通过以上各步, 得到了较完整的能级纲图, 如图 2.

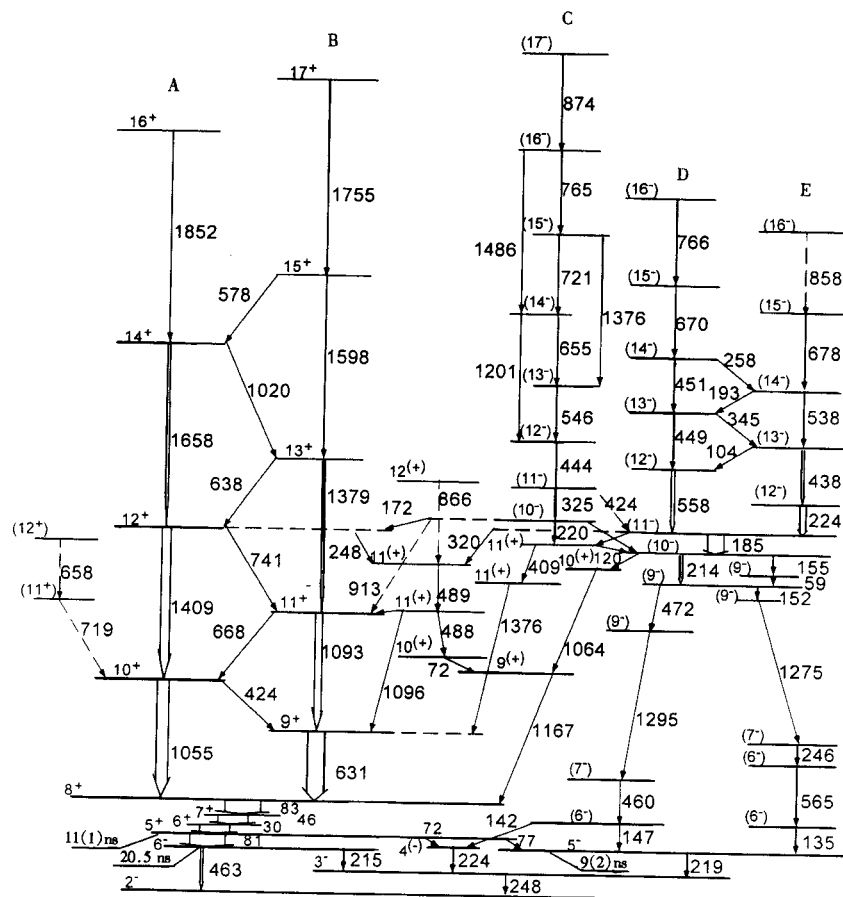


图2 本工作建议⁸⁴Rb的能级纲图(能量单位为keV)

4 讨论

4.1 Rb 各奇奇核同位素高自旋态的比较

与^{76,78,80,82,86}Rb^[3-7]比较可以看出, 它们的结构非常相似, 尤其是 8⁺ 态以上, 这可能是因为它们的组态均为 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$ 的缘故, 而且在 8⁺ 态以上, ⁸⁴Rb 仍然保持着^{80,82}Rb 的一些旋转特性, 这与理论给出⁸⁴Rb 的 $\epsilon_2 = 0.0698$, ⁸²Rb 的 $\epsilon_2 = 0.0621$ 相符. 图 3 再现了奇奇 Rb 核的低激发态 γ 跃迁随中子数增加能量的变化. 从图中可以看出 10⁺ → 8⁺ 的跃迁能量随中子数增加缓慢增加, 但当中子数为 48 时, 其跃迁能突然加大, 这是 $N = 50$ 大球壳的作

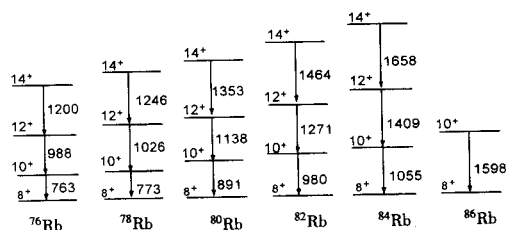


图3 Rb各奇奇同位素核的低激发态 γ 跃迁的比较(能量单位为keV)

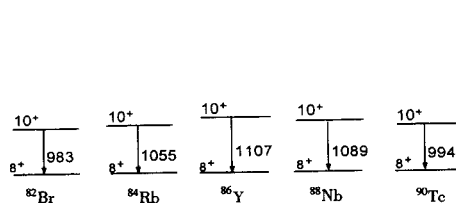


图4 中重区 $N=47$ 的双奇核低激发态 γ 跃迁的比较(能量单位为keV)

用增强.

4.2 $N = 47$ 的中重区双奇核结构的低激发态情况 ($10^+ \rightarrow 8^+$)

从图 4^[8-11]可以看出一些规律性, 就是 $10^+ \rightarrow 8^+$ 的 γ 跃迁能量在 ^{86}Y 两边分别减少, 这主要归因于 $Z = 38$ 壳的作用. 而它们比相邻偶偶核的 $2^+ \rightarrow 0^+$ 激发能明显的高, 易知它们是 $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}^{-3}$ 和 $\pi g_{9/2}^{-3} \otimes \nu g_{9/2}$ 组态的混合.

应该指出的是 ^{84}Rb 的正宇称转晕带与同中子数核比较显示出了一定的集体性, 与其相邻奇 A 同中子数核 ^{87}Zr 相似. 而 ^{84}Rb 的负宇称 γ 跃迁比较丰富, 这与 ^{84}Kr 、 ^{84}Sr 很相似.

参 考 文 献

- 1 Wen S, Liu X A, Zhang H et al. The Level Structure of Transition Neutrondeficient. In: Li L F, Li K K, Wong S S M et al. Proceedings of the First International Conference on Frontiers of Physics-looking to the 21ST Century. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1997. 667—668
- 2 Döring J, Winter G, Funke L et al. Z. Phys., 1991, **A338**:457—458
- 3 Harder A, Kabadiyski M K, Lieb K P et al. Phys. Rev., 1995, **C51**:2932—2941
- 4 Kaye R A, Döring J, Holcomb J W et al. Phys. Rev., 1996, **C54**:1038—1056
- 5 Döring J, Winter G, Funke L et al. Phys. Rev., 1992, **C46**:R2127—R2131
- 6 Jain H C. Nuclear Shapes In Mass-80 Region. In: Eswaran M A, Chudhury R K. Proceeding of the International Symposium on Nuclear Physics. India: Department of Atomic Energy, 1995. 279—287
- 7 Winter G, Schwengner R, Reif J et al. Phys. Rev., 1994, **C49**:2427—2439
- 8 Zhang L K, Wen S, Liu X A et al. Z. Phys., 1993, **A346**:183—185
- 9 Schubart R, Jungclaus A, Harder A et al. Nucl. Phys., 1995, **A591**:515—532
- 10 Bucurescu D, Constantinescu G, Cutoiu D et al. J Phys. (London), 1984, **G10**:1189—1200
- 11 Funke L, Döring J, Kemnitz P. Z. Phys., 1986, **A324**:127—137

High Spin States in $^{84}\text{Rb}^*$

Han Guangbing^{1,3} Wen Shuxian¹ Liu Xiangan¹ Wu Xiaoguang¹
Li Guangsheng¹ Yuan Guanjun¹ Weng Peikun¹ Yang Chunxiang¹
Tong Dianmin³ Ma Yingjun² Lu Jingbin²

¹ (Department of Nuclear Physics, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

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

³ (Department of Physics, Shandong Normal University, Jinan 250014)

Abstract High spin states of ^{84}Rb were populated by the $^{70}\text{Zn} (^{18}\text{O}, p3n)$ reaction at 75 MeV ^{18}O beams provided by the HI-13 Tandem Accelerator of CIAE. Excitation function, gamma-gamma coincidence and DCO Ratio were measured by using 8 BGO Compton-suppressed HPGe spectrometers and a planar HPGe detector. More than 40 excited states and 50 γ rays were identified in the present work. A new level scheme of ^{84}Rb was established, in which the positive and negative bands are extended to 17^+ and 17^- respectively. Comparing the odd-odd Rb isotopes and $N = 47$ isotones, the similar structure is observed in their low excited states.

Key words high spin states, γ - γ coincidence, level scheme

Received 14 July 1998

* Project 19635030 supported by National Natural Science Foundation of China and the Science Foundation of Chinese Nuclear Industry