

过渡区核 ^{87}Zr 的高自旋态研究*

赵广义^{1,2} 李广生¹ 吴晓光¹ 刘祥安¹
温书贤¹ 陆景斌² 袁观俊¹ 杨春祥¹

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)

摘要 通过束流能量为118MeV的 $^{59}\text{Co}(^{32}\text{S}, 3\text{pn})^{87}\text{Zr}$ 融合蒸发反应,用在束 γ 谱学方法研究了 ^{87}Zr 的高自旋态. 利用7台反康普顿谱仪组成的探测阵列进行 γ - γ 符合测量,并确定部分 γ 射线的DCO值,在此基础上建立了自旋直到 $(37/2^+)$ 和 $(43/2^-)$ 的能级纲图. 观测到了多条新的能级. 与相邻的同中子异荷素的比较表明,中子对核结构性质的影响远大于质子的贡献. 随着质子数的增加,第一交叉频率呈减小的趋势.

关键词 高自旋态 在束 γ 谱学 能级纲图

1 引言

在 $A \approx 80$ 区,原子核内中子数和质子数相近,都处在28和50两个满壳之间. 任何一种核子数的改变都会引起核形状的显著变化,呈现出复杂的能级结构,并蕴含着丰富的核结构信息,因此引起人们对该核区的很大兴趣. 1996年,Rudolph等^[1]对这些过渡核进行了研究,并用壳模型进行了很好的解释. 他们的研究表明,对于 $40 \leq Z \leq 45$ 的核来说, $N = 46$ 是集体结构向球形核变化的转折点. 在缺中子区, $40 \leq N \leq 50$ 的 $\text{Zr}(Z = 40)$ 同位素核能够为原子核的形变过程提供一个很好的示例. ^{87}Zr 含有47个中子,处于变形核和球形核之间的过渡区,通过研究它有助于我们对核形变过程的了解,到目前,只有Arnell等^[2]利用 $^{84}\text{Sr}(\alpha, n)^{87}\text{Zr}$ 和 $^{86}\text{Sr}(\alpha, 3n)^{87}\text{Zr}$ 反应对 ^{87}Zr 进行过在束研究,提出一个自旋直到 $27/2^+$ 的能级纲图. 为了获得 ^{87}Zr 的更多的核结构信息,为此,我们通过重离子反应,利用在束 γ 谱学方法对 ^{87}Zr 的高自旋结构进行了探讨.

2

能科学研究院 HI-13 串列加速器上进行的,利用入射能量为

1998-12-31 收稿,1999-05-20 收修改稿
国家自然科学基金资助项目(19675056)

118MeV 的 $^{59}\text{Co}(^{32}\text{S}, 3\text{pn})^{87}\text{Zr}$ 熔合蒸发反应布居 ^{87}Zr 的高自旋态. 实验用的靶为附有 Ta 衬的厚度为 $1082\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的 ^{59}Co 箔, Ta 衬主要是起阻停作用, 便于能级寿命的测量. 用 7 台 HpGe 探测器组成的探测阵列进行 γ - γ 符合测量. 为了提高峰康比, 每个探测器都有一个对称形的 BGO 反康普顿屏蔽装置. 这些探测器放在与束流成 38° , 90° 和 142° 的位置上以便获得 γ 射线的 R_{DCO} 值. 同时, 采用了一个平面型 HPGe 探测器以利于探测低能 γ 射线. 用 ^{152}Eu 和 ^{60}Co 标准源进行能量刻度和相对效率测量. 7 台具有反康屏蔽的 HPGe 探测器的相对效率为 15%—30%, 能量分辨率为 1.9—2.1keV. 本实验记录了约 1.5×10^8 个两重或多重符合事件, 并以事件-事件方式存入磁带.

离线时对事件进行反演分类, 建立 4096×4096 二维矩阵. 通过对该二维符合矩阵的开窗投影确定了各 γ 射线之间的级联关系.

Turcotte 等^[3] 和 Votsilka 等^[4] 早就通过 β 衰变研究了 ^{87}Zr 的能级结构, ^{87}Zr 的基态自旋被确定为 $9/2^+$, 这个指定与相邻的 $N=47$ 奇 A 核 ^{85}Sr ^[5], ^{89}Mo ^[6] 和 ^{91}Ru ^[7] 的情况相一致. 在文献[2]的基础上, 我们根据 γ 射线的符合关系和相对强度, 将 ^{87}Zr 的激发态上推到自旋 ($43/2^-$) 和 ($37/2^+$), 建立了图1所示的能级纲图. 自旋的指定主要通过 γ 跃

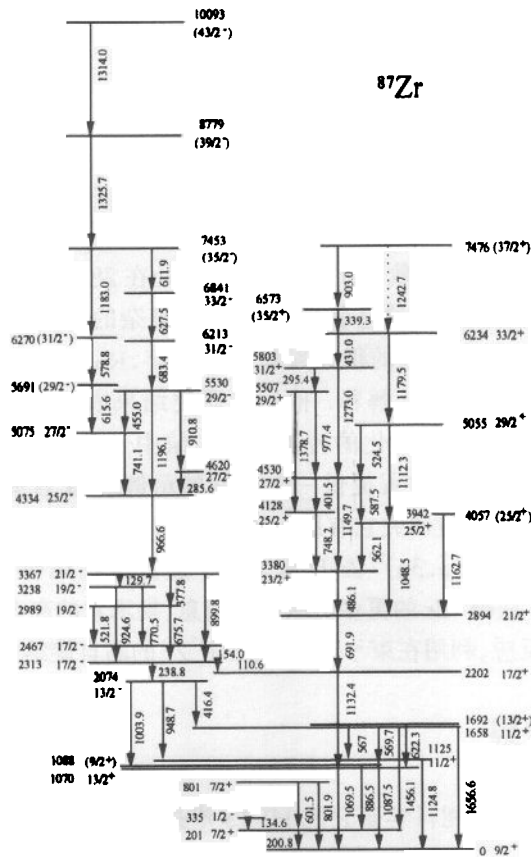


图1 本工作中建立的 ^{87}Zr 的能级纲图

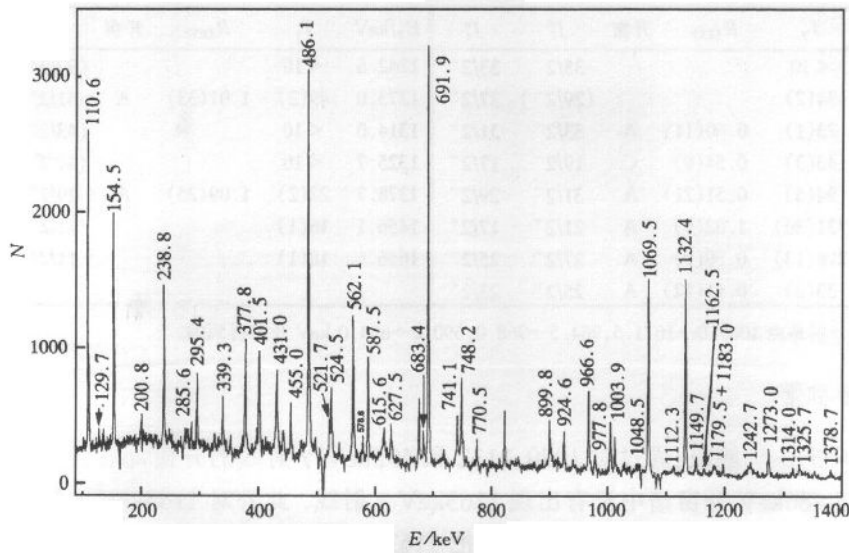


图 2 1070keV 和 1132keV 跃迁开窗的相加谱

迁的 R_{DCO} 比值来实现. 图 2 给出 1070keV 和 1132keV 两条最强 γ 射线开窗的相加谱, 除看到了文献[2]中的大部分 γ 射线外, 还发现了一些新的 γ 射线. 表 1 给出了 γ 射线的能量、相对强度和 DCO 比值 R_{DCO} .

表 1 本实验测量的⁸⁷Zr γ 射线强度和部分 γ 射线的 R_{DCO} 值

E_{γ}/keV	I_{γ}	R_{DCO}	开窗	J_{π}^{\uparrow}	J_{π}^{\downarrow}	E_{γ}/keV	I_{γ}	R_{DCO}	开窗	J_{π}^{\uparrow}	J_{π}^{\downarrow}
110.6	100(9)			$17/2^{-}$	$17/2^{+}$	770.5	<10			$19/2^{-}$	$17/2^{-}$
129.7	16(2)			$21/2^{-}$	$19/2^{-}$	886.5	<10			$(9/2^{+})$	$7/2^{+}$
134.6	<10			$1/2^{-}$	$7/2^{+}$	899.8	155(8)	0.86(19)	A	$21/2^{-}$	$17/2^{-}$
154.5	108(16)			$17/2^{-}$	$17/2^{-}$	903.0	<10			$(37/2^{+})$	$(35/2^{+})$
200.8	47(7)			$7/2^{+}$	$9/2^{+}$	911.3	15(1)			$29/2^{-}$	$27/2^{-}$
238.8	268(33)	1.52(24)	A	$17/2^{-}$	$13/2^{-}$	924.6	125(7)	0.77(15)	B	$19/2^{-}$	$17/2^{-}$
285.6	10(2)			$27/2^{-}$	$25/2^{-}$	949.4	<10			$13/2^{-}$	$11/2^{+}$
295.4	10(2)	0.54(11)	A	$33/2^{+}$	$31/2^{+}$	966.6	219(11)	0.95(13)	A	$25/2^{-}$	$21/2^{-}$
339.3	<10			$(35/2^{+})$	$33/2^{+}$	977.8	13(1)			$29/2^{+}$	$27/2^{+}$
377.8	136(10)	0.51(8)	B	$21/2^{-}$	$19/2^{-}$	1003.9	460(23)			$13/2^{-}$	$13/2^{+}$
401.5	27(3)	0.47(12)	A	$27/2^{+}$	$25/2^{+}$	1048.5	42(3)			$25/2^{+}$	$21/2^{+}$
416.4	105(8)			$13/2^{-}$	$11/2^{+}$	1069.5	1000(49)	1.05(12)	B	$13/2^{+}$	$9/2^{+}$
431.0	11(2)	0.48(10)	A	$33/2^{+}$	$31/2^{+}$	1087.5	<10			$(9/2^{+})$	$9/2^{+}$
455.0	60(4)	0.39(10)	A	$29/2$	$27/2^{-}$	1112.3	<10			$29/2^{+}$	$25/2^{+}$
486.1	202(15)	0.49(5)	A	$23/2^{+}$	$21/2^{+}$	1124.5	33(2)			$11/2^{+}$	$9/2^{+}$
521.7	42(3)	0.61(16)	A	$19/2^{-}$	$17/2^{-}$	1132.4	828(41)	0.98(8)	A	$17/2^{+}$	$13/2^{+}$
524.5	11(2)	0.60(12)	C	$29/2^{+}$	$27/2^{+}$	1149.7	27(2)	0.82(41)	A	$27/2^{+}$	$23/2^{+}$
562.1	68(4)	0.49(8)	A	$25/2^{+}$	$23/2^{+}$	1162.5	24(2)			$(25/2^{+})$	$21/2^{+}$
578.6	<10			$(31/2^{-})$	$(29/2^{-})$	1179.5	<10			$33/2^{+}$	$29/2^{+}$
587.5	26(2)	0.50(10)	A	$27/2^{+}$	$25/2^{+}$	1183.0	<10			$(35/2^{-})$	$(31/2^{-})$
569.7	<10			$11/2^{+}$	$(9/2^{+})$	1196.8	37(2)			$29/2^{-}$	$25/2^{-}$

(续表)

E_γ/keV	I_γ	R_{DCC}	开窗	J_i^π	J_f^π	E_γ/keV	I_γ	R_{DCC}	开窗	J_i^π	J_f^π
612.9	<10			$35/2^-$	$33/2^-$	1242.6	<10			$(37/2^+)$	$33/2^+$
615.6	34(2)			$(29/2^-)$	$27/2^-$	1273.0	49(3)	1.01(33)	A	$31/2^+$	$27/2^+$
627.5	23(1)	0.60(11)	A	$33/2^-$	$31/2^-$	1314.0	<10			$(43/2^-)$	$(39/2^-)$
676.2	43(3)	0.54(9)	C	$19/2^-$	$17/2^-$	1325.7	<10			$(39/2^-)$	$(35/2^-)$
683.4	94(5)	0.51(21)	A	$31/2^-$	$29/2^-$	1378.7	22(2)	1.09(25)	A	$29/2^+$	$25/2^+$
691.9	731(36)	1.02(9)	A	$21/2^+$	$17/2^+$	1456.1	16(1)			$11/2^+$	$7/2^+$
741.1	298(13)	0.50(9)	A	$27/2^-$	$25/2^-$	1656.6	18(1)			$11/2^+$	$9/2^+$
748.3	33(2)	0.51(12)	A	$25/2^+$	$23/2^+$						

A,B,C分别是由1067.0→1071.5,964.5→968.0,690.0→694.0 keV 开窗得到的.

2.1 正宇称带

(1) 4057keV 能级:通过对 1070,1132 和 692keV γ 射线的开窗均看到了 1163keV γ 射线,而在 486keV 开窗谱中没有出现 1163keV γ 射线. 此外对 1163keV γ 射线开窗也只看到了 1070,1132 和 692keV γ 射线,故把 1163keV γ 射线作为 2894keV 能级的馈入跃迁,建立了 4057keV 的新能级,其自旋只能推断地给定为 $(25/2^+)$.

(2) 5055keV 能级:对 562 和 588keV 的 γ 射线开窗首次看到了 525,1180,977,295,1273,431,339 和 903keV 的 γ 射线. 并在对 562keV γ 射线的开窗谱中还看到了 1112keV 的 γ 射线,而在对 588keV γ 射线开窗谱中则没有看到这条 γ 射线. 反之,通过对 1112keV γ 射线的开窗看到了 562keV γ 射线,但 588keV 和 525keV 的 γ 射线都没有出现. 且 587keV 加上 525keV 恰好等于 1112keV,故把 525keV γ 射线馈入 4530keV 能级, R_{DCC} 值确定其为 $\Delta I=1$ 的跃迁,所以这条新建的 5055keV 能级的自旋定为 $29/2^+$.

(3) 5507keV 能级:在对 748keV γ 射线开窗谱中可以看到 402,977 和 1379keV γ 射线,在 402keV γ 射线开窗谱看到了 748 和 977keV γ 射线,却没有发现 1379keV γ 射线. 又因为 402 和 977keV 相加等于 1379keV,所以 977keV 和 1379keV γ 射线都是 5507keV 能级的退激跃迁而分别布居 4530keV $27/2^+$ 态和 4128keV $25/2^+$ 态. 基于 1379keV γ 射线的 R_{DCC} 表明其为 $\Delta I=2$ 跃迁,故 5507keV 能级的自旋被指定为 $29/2^+$.

(4) 5803keV 能级:对 977keV 和 295keV γ 射线开窗谱均可相互看到,但都没有看到 1273keV γ 射线,且 295.4keV 加上 977.4keV 等于 1273keV,又因 977keV γ 射线的开窗谱中没有观察到 1379keV γ 射线,可确定 295keV γ 跃迁布居在 5507keV 能级. 1273keV γ 射线的 R_{DCC} 值表明它是一个 $\Delta I=2$ 的跃迁,所以 5803keV 能级的自旋被定为 $31/2^+$.

(5) 6234keV 能级:由 525keV $29/2^+ \rightarrow 27/2^+$ 跃迁开窗看到 1180,339 和 903keV γ 射线,而对 295 开窗看到了 977,431,339 和 903keV γ 射线,且又在 431keV 开窗谱中看到了 295,977 和 1273keV γ 射线,但没有看到 1180 和 525keV γ 射线,而且,431,295.4,977.4keV 的和与 524.5,1179.5keV 的和相等,故把 431keV γ 射线放在能级 5803keV 之上,确立了 6234keV 的能级,而 1180keV γ 射线也同时退激该能级,馈入 5055keV $29/2^+$ 态. 根据 431 跃迁的 R_{DCC} 值可以指定 6234keV 能级的自旋为 $33/2^+$.

(6) 6573 和 7476keV 能级:由于级联布居 6234keV $33/2^+$ 态的 339keV 和 903keV γ

射线强度非常弱,得不到它们的 R_{Doo} 值,因而 6573 和 7476keV 这两条新能级自旋只能推测性的给出.

2.2 负宇称带

(1) 5530, 5691, 6213, 6270, 6841 和 7453keV 能级:在对 741keV γ 射线开窗谱首次看到了新的 616, 579, 1183, 455, 683, 628, 612, 1326 和 1314keV 的 γ 射线,对 455, 683, 628 和 612keV γ 射线开窗可证明它们相互符合,但却看不到 616, 579 和 1183keV γ 射线,同样对 616, 579 和 1183keV γ 射线开窗,表明它们也相互符合,却没有看到 455, 683, 628 和 612keV γ 射线. 由此可知,它们是两个都馈入 5075keV $27/2^-$ 能级的衰变系列,从而依次建立了 5530, 5691, 6213, 6270, 6841 和 7453keV 6 条新能级. 根据 455, 683 和 628keV γ 射线的 R_{Doo} 值显示它们都是 $\Delta I = 1$ 的跃迁,可以确定 5530, 6213 和 6481keV 3 条能级的自旋分别是 $29/2^-$, $31/2^-$ 和 $33/2^-$. 鉴于 616, 579, 1183 和 612keV γ 跃迁的强度较弱,得不到它们的 R_{Doo} 值,只能推断性的给出 5691, 6270 和 7453keV 能级的自旋.

(2) 8779 和 10093keV 能级:由于 455, 683, 628, 612keV γ 射线的和与 616, 579, 1183keV γ 射线的和相等,且均与 1326 和 1314keV γ 射线相符合,说明这两串衰变系列是同时退激 7453keV 能级的,并由 1326 和 1314keV γ 跃迁级联馈入该能级,从而确定 8779 和 10093keV 两个高激发态,但它们的自旋尚不能确定性地给出.

3 讨论

从图 1 可以看到能级纲图在 $17/2^+$ 以上分裂成两个不同宇称的带结构. 在正宇称带中,除了非常强的 E2 跃迁 1070, 1132 和 692keV 以外,还发现了其它的一些如 1049, 1112, 1180 和 1243keV γ 射线,但这些 E2 跃迁的强度都很弱,这是由于快 M1 跃迁与它们竞争的结果. 在能级纲图左侧的负宇称系列有着非常复杂的结构,在高自旋时似乎表现出近似转动的特性.

比较⁸⁷Zr 和周围相邻同中子奇 A 核的正宇称带(见图 3),它们间的相似性意味着其

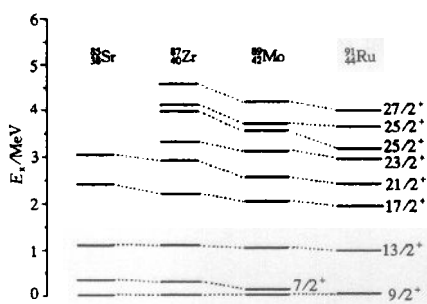


图 3 ⁸⁷Zr 和相邻奇 A 同中子异荷素的正宇称带的比较

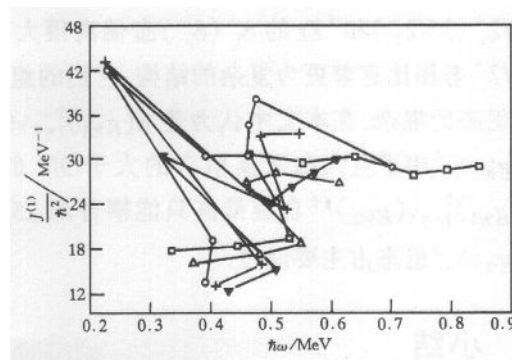


图 4 ⁸⁷Zr 和相邻奇 A 核同位素、同中子异荷素的运动学转动惯量与转动频率的关系
□ ⁸³Zr, △ ⁸⁵Zr, ▼ ⁸⁷Zr, + ⁸⁹Mo, ○ ⁹¹Ru.

能级结构基本不依赖于 Z 发生变化. 也就是说, 质子对核形变的影响是很小的, 而中子影响占主要地位.

为了研究核子数对回弯频率的影响, 我们在图 4 中画出 ^{87}Zr 和 $^{83}\text{Zr}^{[8]}$, $^{85}\text{Zr}^{[9]}$, $^{89}\text{Mo}^{[6]}$, $^{91}\text{Ru}^{[7]}$ 的正宇称带运动学转动惯量 $J^{(1)}$ 随转动频率的变化曲线. 图中可以看到, ^{87}Zr 在转动频率约 0.43MeV 处发生第一回弯. 与 ^{83}Zr 和 ^{85}Zr 相比, 它的第一回弯频率提前. 还可以看到, 这一核区同位素的第一回弯频率随着中子数的增加呈减小的趋势. 与同中子异荷素 ^{89}Mo 和 ^{91}Ru 相比, ^{87}Zr 第一回弯频率相对延迟, 随着质子数的增加第一回弯频率呈减小趋势. 图 4 还表明, 中子数对第一回弯频率的影响比质子数对第一回弯频率的影响要大

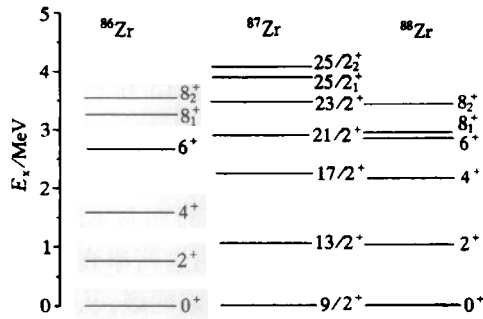


图 5 ^{86}Zr , ^{87}Zr 和 ^{88}Zr 的低位能态的比较

为了便于比较, 图 5 给出了 $^{86}\text{Zr}^{[10]}$, $^{88}\text{Zr}^{[11]}$ 和 ^{87}Zr 的相应低自旋能级图, 可以看出, ^{87}Zr 的 $13/2^+$ 和 $17/2^+$ 态与 ^{88}Zr 的 2^+ 和 4^+ 态符合得很好, 而 ^{86}Zr 的 2^+ 和 4^+ 态激发能明显要低, 这主要是由于含有 47 个中子的 ^{87}Zr 和含有 48 个中子的 ^{88}Zr 靠近 $N = 50$ 大壳, 更接近于球形. 而 ^{86}Zr 离 $N = 50$ 大壳远一些, 因而集体特性更强一些.

对于 ^{87}Zr 来说, 它的一些低激发态可以用相邻的偶偶核 ($Z, N + 1$) 的核芯激发态 0^+ , 2^+ , 4^+ , 6^+ 等耦合上一个中子空穴态 $\nu(g_{9/2})^{-1}$ 来解释^[2]. 那么图 5 中 ^{87}Zr $13/2^+$ 态的组态可能是 $\nu(g_{9/2})^{-3}$ 或 $\pi(g_{9/2})_{I=2}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$. 考虑到 $17/2^+$ 态的能级结构随 Z 的变化比 $13/2^+$ 态要明显, 那么 $17/2^+$ 态的组态极有可能是 $\pi(g_{9/2})_{I=4}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 占主要成份. 基于同样的考虑 $21/2^+$ 态的组态应该是 $\pi(g_{9/2})_{I=6}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 占主要成份, 并可能混有少量 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 的成份. 对于 $23/2^+$ 态, 通过一条很强的 $M1$ 跃迁退激到 $21/2^+$ 态, 这种结构在 $^{89}\text{Mo}^{[6]}$ 也存在, 从图 5 中可以看到 $23/2^+$ 态和 ^{88}Zr 的 8_2^+ 态符合得非常好, 且在相邻的 ^{88}Zr 中 8_2^+ 被确定为 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2$ 组态, 故把 $23/2^+$ 确定为 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 是合理的. $25/2_1^+$ ($25/2_2^+$) 和 ^{88}Zr 的 8_1^+ (8_2^+) 态偏离很大, 这表明 $25/2_1^+$ ($25/2_2^+$) 态与 $13/2^+$, $17/2^+$ 和 $21/2^+$ 态相比有着更为复杂的结构, 它们的组态除了 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 以外还应包含其它组态的混杂, 在本文中认为是 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 和 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})_{In}^{-3}$ (In 是指 3 个 $\nu(g_{9/2})^{-1}$ 中子空穴态所能耦合的大于 $9/2$ 的自旋值) 组态之间的混杂所造成的. 由于 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})^{-1}$ 自旋最高只能耦合到 $25/2^+$, 所以对于 $I \geq 27/2^+$ 态, 则是 $\pi(g_{9/2})_{I=8}^2 \nu(g_{9/2})_{In}^{-3}$ 组态占主要地位.

4 小结

利用重离子反应结合在束 γ 谱学的方法对 ^{87}Zr 进行了高自旋态的研究. 建立了自旋直到 $(37/2^+)$ 和 $(43/2^-)$ 的能级纲图, 观察到许多过去未知的新能级. 随着角动量增加, 出

现 $\pi(g_{9/2})^2_{I=8}\nu(g_{9/2})^{-1}$ 组态和 $\pi(g_{9/2})^2_{I=8}\nu(g_{9/2})^{-3}_{I_n}$ 组态之间的混杂. 对于 $I \geq 27/2^+$ 高自旋态, 则是 $\pi(g_{9/2})^2_{I=8}\nu(g_{9/2})^{-3}_{I_n}$ 组态占主要地位. 系统学的分析表明, 在核子数对核结构的影响中, 中子的贡献远大于质子, 随质子数的增加第一交叉频率呈减小趋势.

感谢许国基同志在制靶工作中给予的热情帮助. 感谢 HI-13 串列加速器运行人员为我们提供了良好的束流条件.

参考文献 (References)

- 1 Rudolph D, Lieb K P, Grawe H. Nucl. Phys., 1996, **A597**(2):298—326
- 2 Arnell S E, Sjöberg S, Skeppstedt et al. Z. Phys., 1978, **A289**(1):89—102
- 3 Turcotte R, Iafigliola R, Moore R B et al. Nucl. Phys., 1972, **A198**(1):67—72
- 4 Votsilka I, Kratsik B, Liptak I et al. Izv. Akad. Nauk. Ser. Fiz., 1974, **38**:57—61
- 5 Arnell S E, Sjöberg S, Skeppstedt et al. Nucl. Phys., 1977, **A280**(1):72—85
- 6 Weiszflog M, Rudolph D, Gross C J et al. Z. Phys., 1993, **A344**(4):395—403
- 7 Heese J, Grawe H, Maier K H et al. Phys. Rev., 1994, **C49**(4):1896—1903
- 8 Rudolph D, Gross C L, Lieb K P et al. Z. Phys., 1991, **A338**(2):139—148
- 9 Jungclaus A, Albers S, von Brentano P et al. Z. Phys., 1995, **A352**(1):3—4
- 10 Hattula J, Juutinen S, Helppi H et al. Phys. Rev., 1983, **C28**(4):1860—1862
- 11 Oxorn K, Mark S K, Kitching J E et al. Z. Phys., 1985, **A321**(3):485—498

Study of High Spin States in Transitional Nucleus $^{87}\text{Zr}^*$

ZHAO GuangYi^{1,2} LI GuangSheng¹ WU Xiao Guang¹ LIU XiangAn¹
WEN ShuXian¹ LU JingBin² YUAN GuanJun¹ YANG ChunXiang¹

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

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

Abstract High spin states in ^{87}Zr was studied through the fusion evaporation reaction $^{59}\text{Co}(^{32}\text{S}, 3\text{pn})^{87}\text{Zr}$ at a beam energy of 118 MeV using in-beam γ -ray spectroscopic method. γ - γ coincidence measurement was performed by using an array consisting of seven anti-Compton spectrometers, and DCO ratios of some γ rays were determined. The level scheme of ^{87}Zr was established up to spin $(37/2^+)$ and $(43/2^-)$. Many previously unknown states have been observed. Comparison with neighboring isotones indicates that effect of neutron on nuclear structure property is predominant compared to proton, and there is a tendency of reduction in band crossing frequency with increasing proton number.

Key words high spin states, in-beam γ ray spectroscopy, level scheme

Received 31 December 1998, Revised 20 May 1999

* Project (19675056) supported by National Natural Science Foundation of China