

4-2, 1977.

^{73}Br 的衰变研究

范我 赵之正 孙秀荣 牟万统 马家玉

杨维凡 谢秀君 赵莉莉 余菊生

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

摘 要

以 $^{64}\text{Zn}(^{12}\text{C}, 2\text{np})^{73}\text{Br}$ 反应得到 ^{73}Br , 经过氦喷嘴传输系统和快速化学分离后进行了 γ 单谱、 γ - γ 符合和角关联测量, 得到了 ^{73}Br 的 27 条 γ 射线能量和相对强度, 其中 102.1、137.2、166.2、249.0、345.5、363.8、381.5、385.7 和 390.2 keV 9 条 γ 射线以及 192.4、537.4 和 574.1 keV 3 条能级为本工作首次测得。建立了 ^{73}Br 的衰变纲图, 由 $\log ft$ 值和角关联系数测量值推测了 90.4 keV 能级的自旋。

一、引 言

在 $A = 70-80$ 的区域内存在着一个大的基态形变区已被证明。Möller 和 Nix 又提出在 $N = Z = 38$ 周围有一个新的大形变区。因此 N 和 $Z = 38$ 的壳层间隙对核形变的影响, 在低于 $N = 50$ 的区域, 核的扁椭球形和长椭球形之间的复杂的竞争, 以及在较轻体系中有时一个核子之差引起的强烈形变等等, 都是人们感兴趣的题目。Hamilton 和 Bengtsson 认为, 在这个区域中应该观察到形状共存: 最大的扁椭球形变区在 $Z = 35$, $N = 35$ 附近, 而最大的长椭球则在 Z 和 $N = 38$ 附近^[1,2]。

对 ^{73}Br 的衰变和它的子体 ^{73}Se 的低激发态能级的测定有助于我们了解 $Z = 35$ 和 $N = 38$ 附近核的形变趋势, 而现有的 ^{73}Br 的衰变纲图是 1970 年 Murray 等人通过常规化学分离后样品的 γ 单谱测量得到的^[3], 他们没有进行符合测量, 多数能级也未指定角动量。我们在 1983 年测定 ^{73}Br 的半衰期为 3.3 分和一些 γ 跃迁^[4] 的基础上, 利用氦喷嘴传输系统和快化分离相结合, 又进行了 γ 单谱、 γ - γ 符合测量和角关联系数测量, 期望在传输和化学分离速度加快、探测效率提高、计数统计性改善的条件下, 得到更多的信息, 以充实和完善 ^{73}Br 的衰变纲图。

二、实 验

^{73}Br 由本所迴旋加速器提供的 72 MeV ^{12}C 束流经过 $3.6\text{mg}/\text{cm}^2$ 的铝箔降能后轰击

本文 1986 年 8 月 8 日收到。

7 MeV
allowed
s were
ned in

^{64}Zn 同位素靶得到。生成的 ^{73}Br 通过加有 AgCl 添加剂的氦喷嘴装置由靶室传出，靶室入口处的氦气压力为 1.3atm ，经过 8 米长的聚乙烯管子后进行快速化学分离，最后 Br 的部分被吸附在装有浸渍过 $\text{HDEHP} + \text{CCl}_4$ 的海绵的有机玻璃管（壁厚 1mm ）内进行测量。氦喷嘴传输装置如图 1，详细的化学分离过程见文献[4]。

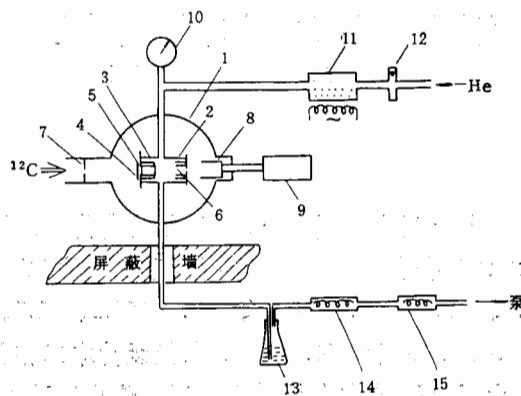


图 1 实验装置示意图

1. 靶室 2. 氦喷嘴加热室 3. 靶子 4. 降能铝箔 5. Ni 窗 6. 出射窗 7. 限束光栏 8. 法拉第筒 9. 束流积分器 10. 压力表 11. AgCl 添加剂 12. 流量计 13. 吸收液 ($18\text{ml } 10\text{NHNO}_3 + 10 \mu\text{gBr} + 23\text{mlH}_2\text{O} + 18\text{ml } 0.5\text{M KBrO}_3$) 14. 用 $1 \text{NH}_2\text{SO}_4$ 浸渍的泡沫塑料 15. 用 $80\% \text{HDEHP-CCl}_4$ 浸渍的泡沫塑料

用一台 $\text{Ge}(\text{Li})$ 探测器 (140cm^2 , 1332.5keV 的 $\text{FWHM} \sim 2.6\text{keV}$) 和一台高纯 Ge 探测器 (50cm^2 , 1332.5keV 的 $\text{FWHM} \sim 2.0\text{keV}$) 通过标准 γ - γ 快慢符合系统作符合测量，符合分辨时间为 50ns ，源距探头 4.2cm ，符合探测器之间的角度为 90° 和 160° ，在两个方向上测量的累计时间分别为 19 和 26 小时，测量过程中每隔 5 分钟换一个样品。以圆柱形 $^{152+154}\text{Eu}$ 和 ^{133}Ba 溶液源作相对效率校正。源的几何形状和包装材料近似于实际的 ^{73}Br 源， ^{241}Am 、 ^{57}Co 、 ^{60}Co 、 ^{22}Na ^{137}Cs 等标准源用于能量刻度。

在 Multi-20 数据获取系统上进行 1024×1024 数据获取， γ - γ 符合测量的数据以事件方式记录在磁带上。由于束流时间的限制，仅测了 90° 和 160° 符合谱，分别累计了符合事件 7.5×10^4 和 1.2×10^6 个。实验后作离线数据处理。在总投影谱上，参照单谱，对 ^{73}Br 的各峰开门，通过 Multi-20 程序处理可获得相应关联事件谱，减本底后获得相应 γ 跃迁的符合谱。峰下面积、复杂峰的分解及制图等 γ 谱分析则在 PDP11/44 上进行。峰下面积数据由 LEONE 程序作最小二乘法拟合获得。

三、实验结果和讨论

1. γ 射线能量和相对强度

与符合测量同时记录的直接谱得到四个 γ 单谱，并且经符合谱和以前测定寿命的结果确定，测得 27 条 ^{73}Br 的 γ 射线能量和以 336.0keV 为 100% 的 γ 相对强度列于表 1，探

测效率误差取 3—10%.

表 1 ^{73}Br γ 射线的能量和相对强度

能量 (keV)		相对强度 (%)		能量 (keV)		相对强度 (%)	
本工作	文献值 ^[3]	本工作 ¹⁾	文献值 ²⁾	本工作	文献值 ^[3]	本工作 ¹⁾	文献值 ²⁾
64.7±0.1	64.9±0.1	418.6±33.5	100	400.4±0.5	400.6±0.2	65.6±2.6	20±1
102.1±0.3		2.4±0.1		489.6±0.1	489.6±0.2	14.9±0.6	4±1
125.6±0.1	125.5±0.1	51.7±4.1	23±2	540.0±0.3	539.6±0.2	21.4±0.7	8±2
137.2±0.2		2.2±0.1		550.2±0.2	550.1±0.2	7.5±0.2	3±1
166.2±0.1		17.7±0.7		615.6±0.1	614.9±0.2	24.3±0.2	8±1
249.0±0.1		1.4±0.1		638.4±0.3	638.6±0.3	4.9±0.1	4±1
275.2±0.1	275.1±0.2	26.9±0.1	10±1	700.2±0.1	699.5±0.2	97.2±3.0	40±3
336.0±0.1	335.7±0.2	100	34±2	849.9±0.1	848.7±0.2	61.9±1.9	20±1
345.5±0.1		0.8±0.3		870.3±0.4	869.8±0.3	8.0±0.3	5±1
363.8±0.2		3.9±0.1		914.2±0.4	913.6±0.2	50.4±1.5	19±2
374.1±0.3	374.3±0.2	24.0±1.0	8±1	931.0±0.3	930.7±0.2	59.6±1.8	22±2
381.5±0.5		8.1±0.3		995.3±0.3	995.6±0.2	17.3±0.5	7±1
385.7±0.3		5.2±0.1		788.3±0.2	788.1±0.2	11.0±0.4	3±1
390.2±0.3		7.7±0.2					

1) 以 336keV 的 γ 射线强度为 100%.

2) 以 64.9keV 的 γ 射线强度为 100%.

从表 1 列出的本实验数据和文献值可以看出, 本工作得到的各条 γ 射线能量和相对强度, 除 64.7keV 线的强度以外, 其余的与文献值都基本符合. 64.7keV 线的强度, 由扣除干扰得到. 低能部分的探测效率用 ^{133}Ba 源校正. 此数据与我们一年以前的工作基本符合, 166.2keV γ 射线的强度为扣除了 ^{67}Ge 干扰部分的结果.

2. γ 跃迁和它们之间的级联关系

对开门和减本底处理后的符合谱, 经反复分析比较得到符合关系如表 2. 典型的符合谱图如图 2.

根据符合关系及 γ 跃迁能量和强度等得到 ^{73}Br 的衰变纲图如图 3. 其中 25.7keV 的 γ 射线, 由于本实验所用源的外壳较厚以及 Ge 探测器测低能 γ 的灵敏度不够高, 因此未能测到. 它的能量、强度以及 25.7keV 能级和基态能级的自旋、宇称取自文献[5].

纲图中由本工作首次测得的 γ 跃迁和能级如下:

102 和 166keV γ 射线及 192.4keV 能级: 先在 65keV 开门, 后在 102keV 开门, 发现 65 和 102keV γ 射线有明显的级联关系. 166keV γ 射线在本实验中明显存在, 它有一部分来自 ^{67}Ge (167keV, 18.3 分) 的干扰, 但从开门的符合谱中得到了它和 345 及 382keV γ 射线的级联关系(而 ^{67}Ge 中没有这些 γ 射线), 并且在扣除 ^{67}Ge 的部分后, 得到 166.2keV 的半衰期为 3.0 ± 0.4 分, 因此认为 ^{73}Br 中存在 166.2keV 的 γ 跃迁. 同时, 从 102 和 166keV 两条跃迁没有级联关系以及 102keV 的 γ 射线也与 345 和 382keV γ 射线有弱的级联关系来看, 把 102 和 166keV 的 γ 跃迁一起看作来自 192.4keV 能级比较合适.

表 2 γ 跃迁之间的符合关系

开门 γ 射线 (keV)	有符合关系的 γ 射线 (keV)	开门 γ 射线 (keV)	有符合关系的 γ 射线 (keV)
65	102, 336, 550, 700, 850, 931	390	126, 249, 374
102	65, 345, 382	490	126
126	249, 275, 386, 490, 788, 870	540	374
166	345, 382	550	65
249	126, 390, 540	638	126
275	126, 364	700	65
345	65, 102, 166	788	126
364	65, 126, 275, 336, 400	850	65
374	137, 390, 540	870	126
382	166	931	65

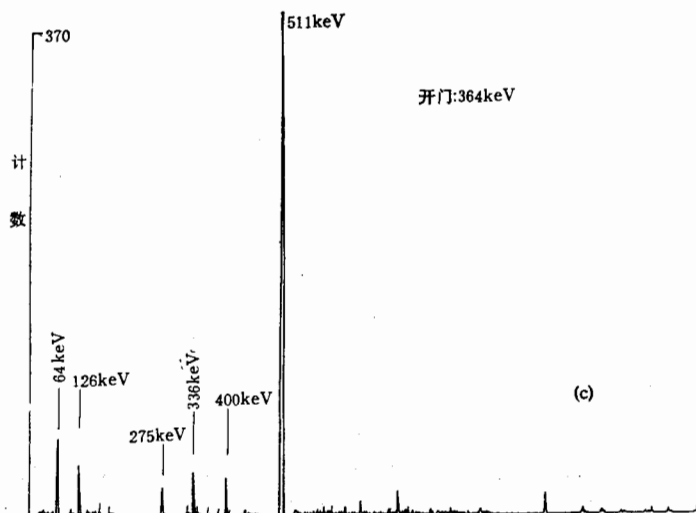
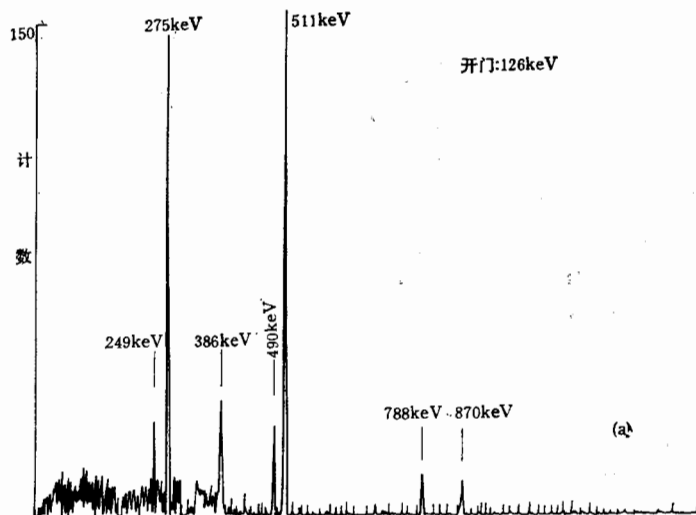


图 2 典型

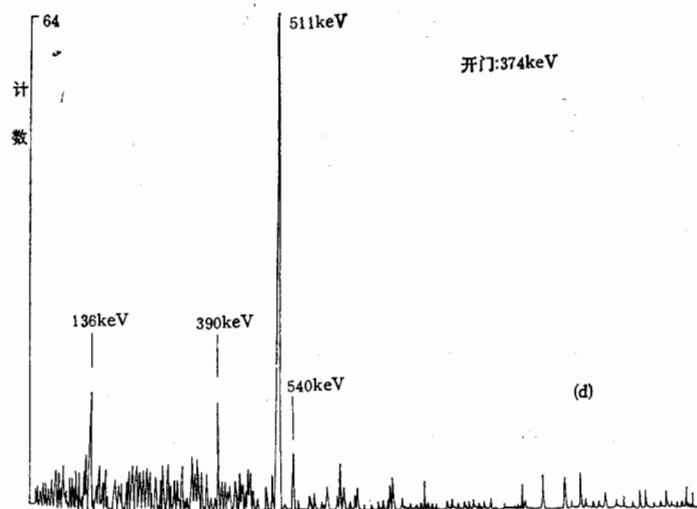
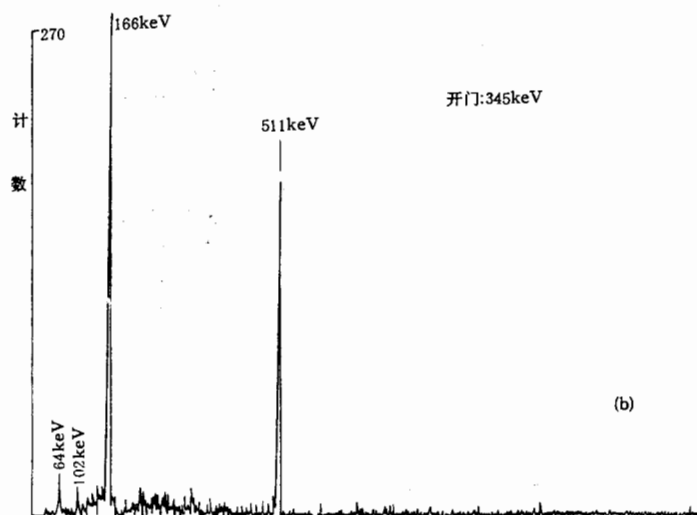
的符合

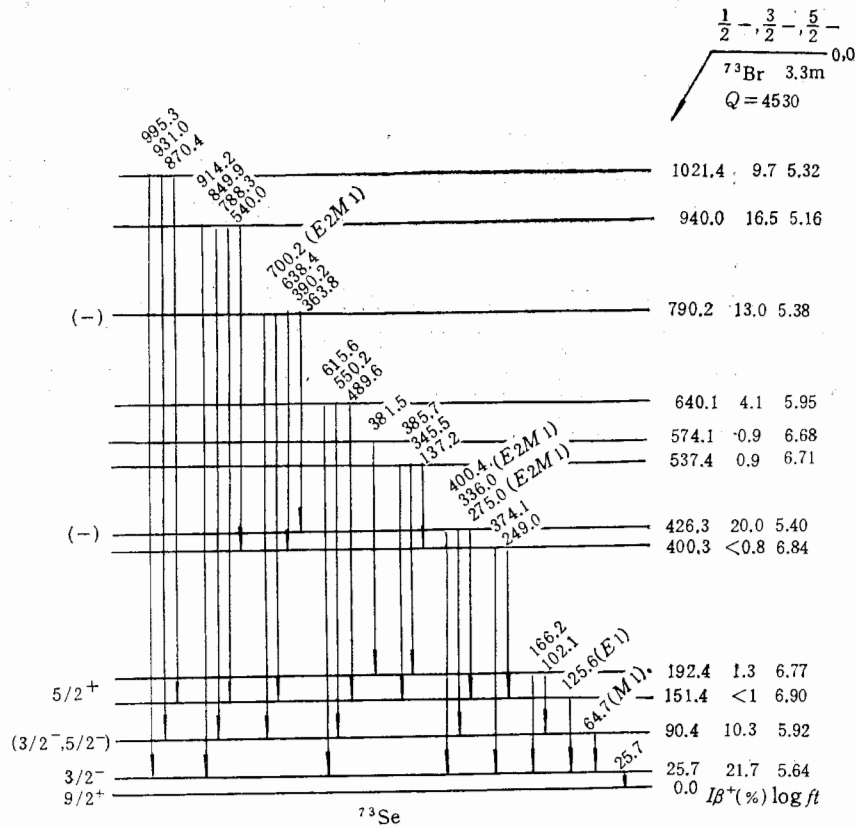
13:
线:
级:
门,
151
分:
390
别:

137、345、386keV γ 射线和 537.4keV 能级: 在 374keV 开门的符合谱中, 明显存在 137keV 的 γ 射线, 从其他能量开门的符合谱中, 也分别发现 345 与 65、102、166keV γ 射线之间, 386 和 126keV γ 射线之间有级联关系, 它们的能量关系相加, 得出 537.4keV 能级. 386keV γ 射线的半衰期测得为 2.8 ± 0.8 分.

249keV γ 射线: 先在 126keV 开门谱中发现存在 249keV 的线, 后来在 249keV 开门, 也得到了它和 126、390. 及 540keV 线之间有级联. 因此, 把 249keV 跃迁放在 400.3 和 151.4keV 能级之间.

364 和 390keV γ 射线: 在 336 和 275keV 开门及 374 和 249keV 开门的符合谱中, 分别发现了 364 和 390keV 两条线, 后来在 364 和 390keV 开门, 也证实了 364 和 336、275, 390 和 374、249keV 几条线之间的级联关系. 对 364 和 390keV 两条 γ 射线跟踪半衰期分别得到 $T_{1/2} = 3.5 \pm 0.4$ 和 3.3 ± 0.6 分. 从各能级之间的能量差计算, 把它们分别放在 790



图3 ^{73}Br 的衰变

到 426 和 790 到 400keV 能级之间。

382keV γ 射线和 574.1keV 能级：从开门的符合谱中得到 382 和 166keV 两条 γ 跃迁之间有级联关系，并且在 382keV 的开门谱中存在 102 和 65keV 小峰，而在 ^{67}Ge 中不存在 382keV 的 γ 射线，测得 382keV γ 射线的半衰期为 2.4 ± 1.0 分，由此建立了 574.1keV 能级并确认了 382keV 的 γ 跃迁。

862keV γ 射线：本工作单谱测定中观察到了 862keV 的 γ 射线。在 862keV 开门，未发现与其他 γ 射线有级联关系，测其半衰期为 1.2 ± 0.1 分，与 ^{72}Br 1.3 分的半衰期^[6]相符。本实验的核反应产物中有 ^{72}Br ，并且化学分离不能除去。另外，862keV γ 射线与 ^{72}Br 的其他 γ 射线的强度比也相符。因此，我们认为它应该属于 ^{72}Br ，从而否定了 Mürrag 认为属于 ^{73}Br 的结论。

在本工作首次测得的 9 条 γ 射线中，102, 137, 249 和 345 四条 γ 射线由于计数太少，未能进行半衰期跟踪，仅根据符合关系确定它们属于 ^{73}Br 。三条能级中，192.4 和 571.4keV 两条能级有可能和在束谱中的 192.4 和 575.01keV 为相同的能级，但在衰变谱中是第一次测得。

3. 根据质量表^[7]计算得 ^{73}Br 的 Q 值为 4530keV。从 γ 跃迁强度计算了各能级的居留数，并得到了 β^+ 分支比和 $\log ft$ 值， $\log f$ 值取自文献^[8]，如表 3。在计算能级居留数

时

跃
0.1
数的
能
辐
射

时,已把内转换电子的贡献计算在内。

4. 各向异性度 A 的测定和能级角动量的推测

实验上, 本工作选了 336 和 700keV γ 跃迁与 65keV γ 跃迁之间, 275 与 126keV γ 跃迁之间的级联关系, 测得它的实验 A 值分别为 0.306 ± 0.056 、 0.495 ± 0.158 和 0.630 ± 0.157 。其他 γ 辐射由于强度弱、统计性差、计算误差太大。

另外, 我们计算了各种可能的纯跃迁和在不同的混合比 δ 时的混合跃迁的角关联函数 $W(\alpha)$ 和理论 A 值。Ge(Li) 探测器的几何因子, 计算中我们采用了文献[9]的值。

表 3 $^{73}\text{Br}\beta^+$ 衰变的分支比和 $\log ft$ 值

能级 (keV)	$I\beta^+(\%)$	$\log ft$	能级 (keV)	$I\beta^+(\%)$	$\log ft$
25.7	21.7	5.64	537.4	0.9	6.71
90.4	10.3	5.92	574.1	0.9	6.68
151.4	<1	6.90	640.1	4.1	5.95
192.4	1.3	6.77	790.2	13.0	5.38
400.3	<0.8	6.84	940.0	16.5	5.16
426.3	20.0	5.40	1021.4	9.7	5.32

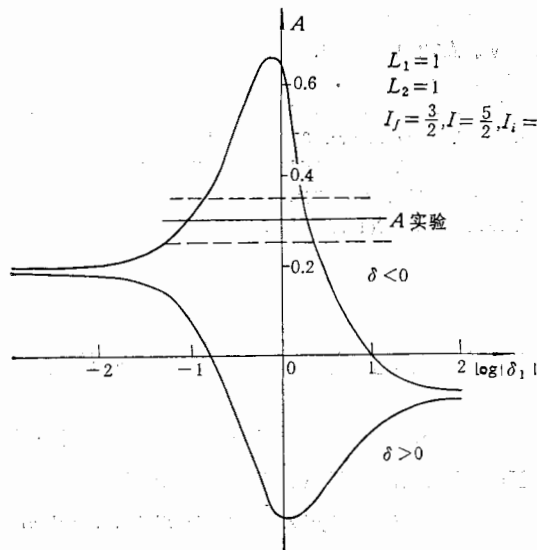


图 4 理论 A 值随 δ 的变化及与实验 A 值的比较

在 336 和 65keV γ 射线级联的情况下, 发现只有当 $L_2 = 1$, L_1 为混合跃迁时, 理论的 A 值 $\sim \delta$ 曲线与实验 A 值有交点, 典型的曲线如图 4。由此, 我们可以推测, 当 25.7keV 能级的自旋为 $\frac{3}{2}$ 时, 90.4keV 能级的自旋应为 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{2}$ 或 $\frac{5}{2}$ 。其中, $I = \frac{1}{2}$, 意味着 γ 辐射的各向同性, 角关联函数应为常数, 各向异性度 $A = 0$, 与本实验结果不一致。同时, 90.4keV 能级的自旋应为 $\frac{3}{2}$ 或 $\frac{5}{2}$ 。从 ^{73}Br 的基态宇称为 $(-)$ 和 90.4keV 能级的

γ 跃
不存
keV

1, 未
符。
ir 的
人为

少,
keV
一次

的居
留数

$\log ft$ 值 = 5.92, 推测它的宇称应为(-). 65keV γ 射线为 $M1$ 跃迁. 同理, 426keV 和 790keV 能级宇称为(-), 根据理论 A 值 $\sim \delta$ 曲线与实验 A 值的比较, 336keV 和 700 keV γ 射线为 $E2M1$ 混合跃迁. 151keV 能级的 $\log ft$ 值为 6.9, 因此推测它的宇称应为(+), 126keV γ 射线为 $E1$ 跃迁, 275.0keV γ 射线为 $E2 M1$ 混合跃迁.

把 ^{73}Se 的低激发态能级与相邻的同质子或同中子核素比较, 相似性不明显, 难以推测它的形变状态. 理论上认为, 由于质子壳结构比中子壳结构的影响更大, $Z = 35$ 的同位素实际上都具有扁椭球形和 $Z = 38$ 的同位素都具有长椭球形, 对于同样数目的中子, 则长椭球形和扁椭球形都会出现. 计算得到 ^{73}Se 核的 $\epsilon_2 \sim -0.23$, 认为它是扁椭球形. 可惜我们缺乏足够的实验数据来证实这一点.

作者衷心感谢本所加速器运行组、多道组、PDP 计算机组、实验核物理组和工厂在实验中的大力支持和协助. 张敬业、归寿造、郭俊盛和钟纪泉同志对实验结果的分析 and 讨论给予了具体的指导, 提出了宝贵的建议和看法, 并提供了某些理论计算数据, 作者在此谨表诚挚的谢意.

参 考 文 献

- [1] J. H. Hamilton, *J. Phys. G*, **10**(1984), L87.
- [2] R. Bengtsson et al., *Phys. Scripta*, **29**(1984), 402.
- [3] G. Murray et al., *Nucl. Phys.*, **A142**(1970), 21.
- [4] 谢秀君等, 核化学与放射化学, **6**(1980), 48.
- [5] L. P. Ekstrom et al., *Nucl. Data Sheets*, **29**(1980), 21.
- [6] F. Kearns and J. N. Mo, *Nucl. Data Sheets*, **31**(1980), 103.
- [7] A. H. Wapstra and N. B. Gove, *Nucl. Data Tables*, **9**(1971), 267.
- [8] N. B. Gove et al., *Nucl. Data Tables*, **10**(1971), 205.
- [9] K. S. Krane et al., *Nucl. Inst. Met.*, **98**(1972), 205.

THE DECAY STUDY OF ^{73}Br

FAN WO ZHAO ZHIZHENG SUN XIURONG MU WANTONG MA JIAYU YANG WEIFAN

XIE XIUJUN ZHAO LILI YU JUSHENG

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou)

ABSTRACT

γ - γ coincidence and γ - γ angular correlation measurements of ^{73}Br produced in $^{64}\text{Zn}(^{12}\text{C}, 2np)$ reaction have been performed. The energies and relative intensities of 27 γ -rays are obtained, among them 9 lines and 3 levels have not been reported before. The level scheme of ^{73}Br has been established. The spin of 90.4 keV level is inferred to be $3/2^-$ or $(5/2^-)$.

变
间
²³⁸
熔
布
的

处
面
变
有
提
个
熔
及

间
也
算