

## $^{95}\text{Ru}$ 的衰变\*

方克明 刘静怡 石双惠 顾嘉辉 曾寄萍  
余笑寒 沈水法 李 燕

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

**摘要** 通过  $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$  反应产生  $^{95}\text{Ru}$ , 对半衰期为 1.65 小时的  $^{95}\text{Ru}$  的衰变  $\gamma$  谱学进行了研究, 观察到了  $^{95}\text{Ru}$  衰变产生的 130 条  $\gamma$  射线, 其中 34 条是新的. 根据符合关系, 将新  $\gamma$  射线中的 29 条放进了衰变纲图, 同时确认了原纲图中 7 条  $\gamma$  射线的位置, 发现了  $^{95}\text{Ru}$  衰变子体  $^{95}\text{Tc}$  的 3 个新能级, 给出了  $^{95}\text{Ru}$  新的衰变纲图.

**关键词** 新  $\gamma$  射线 新能级 衰变纲图

### 1 引言

$Z \approx 40$  和  $N \approx 50$  的核一直是许多理论研究的课题.  $^{95}\text{Tc}$  是该区附近的一个奇  $A$  核, 至今为止, 对该核的各种理论描述均不能与实验结果很好地符合, 部分原因是缺乏充分的核结构信息作为理论计算的依据. 为此, 我们试图通过对  $^{95}\text{Ru}$  衰变谱学进行研究以获取  $^{95}\text{Tc}$  的重要的核结构信息. 对  $^{95}\text{Ru}$  衰变谱学的研究主要是 70 年代由 Alexander 等<sup>[1]</sup>以及 Klaus 等<sup>[2]</sup>所做, Burrows 在此基础上对它进行了编评<sup>[3]</sup>. 文献 [1] 用 18MeV  $\alpha$  粒子轰击天然钼靶, 通过  $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$  反应产生  $^{95}\text{Ru}$ , 经过化学分离后, 用 Ge(Li) 与 NaI(Tl) 探测器组成的反康谱仪测量单谱, Ge(Li)-Ge(Li) 探测器测量符合谱. 文献 [2] 用  $^{96}\text{Ru}(\gamma, n)$  反应产生  $^{95}\text{Ru}$ , 经过化学分离后, 用 Ge(Li) 探测器测量单谱和符合谱. 本工作中用 17MeV 的  $\alpha$  粒子通过  $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$  反应产生  $^{95}\text{Ru}$ , 用 20% GMX HPGe 与 50% GEM HPGe 探测器测量  $\gamma$  射线单谱和  $\gamma$ - $\gamma$ -t 符合事件, 通过对单谱和符合谱进行分析, 得出  $^{95}\text{Ru}$  衰变的  $\gamma$  射线能量和相对强度. 对  $\gamma$  射线的强度进行平衡, 计算 logft 值, 在文献 [3] 的基础上给出新的  $^{95}\text{Ru}$  的衰变纲图.

### 2 实验

根据 Alice 程序计算,  $\alpha$  粒子能量为 17MeV 时,  $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)^{95}\text{Ru}$  反应截面约为 800mb,

1998-06-02 收稿

\* 国家自然科学基金(19575062)和中国科学院九五重点项目资助

能产生的其它放射性核只有其子体  $^{95}\text{Tc}$ . 为此, 本实验用上海原子核所回旋加速器提供的  $30\text{MeV}$ 、 $0.2\mu\text{A}$  的  $\alpha$  粒子, 穿过  $280\mu\text{m}$  Al 箔降能到约  $17\text{MeV}$  后, 轰击约  $10\text{mg}$  纯度大于  $99\%$  的粉状  $^{92}\text{Mo}$  同位素靶, 通过  $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$  反应产生  $^{95}\text{Ru}$ . 测单谱和符合谱用的样品分别每次照射  $0.5$  小时和  $1.0$  小时, 各照  $4$  个靶.

照射结束后  $1$  小时开始测量, 每个样品测量  $5$  小时. 用距样品源  $10.0\text{cm}$  的  $20\%$  GMX HPGe 探测器测量单谱, 计数率控制在  $4000/\text{s}$  以内. 用互成  $90^\circ$  的  $20\%$  GMX HPGe 与  $50\%$  GEM HPGe 探测器进行符合测量, 两个探头间放一块  $1.2\text{cm}$  厚的 Pb 块屏蔽以减少散射, 源距为  $8.0\text{cm}$ . 数据分析时符合分辨时间采用  $75\text{ns}$ , 共记录了  $370$  万个符合事件. 用  $^{152}\text{Eu}$  和  $^{60}\text{Co}$  标准源对两个探测器进行能量刻度和相对效率刻度, 两探测器对  $^{60}\text{Co}$   $1332\text{keV}$   $\gamma$  的分辨率分别为  $1.90\text{keV}$  和  $1.95\text{keV}$ .

采用类似 K. Okano<sup>[4]</sup> 等程序结构的微机解谱程序进行单谱分析, 非常准确地给出了  $\gamma$  射线的能量和相对强度, 同时对重峰进行了很好地分解. 根据单谱的累计谱, 我们重新确定了  $\gamma$  射线的能量和相对强度, 对  $\gamma$  射线强度进行了平衡计算, 得出了新的  $\beta^+ + \text{EC}$  衰变分支比和  $\log ft$  值. 根据时间序列谱算出的半衰期, 结合符合关系以及能量关系, 确认了  $^{95}\text{Ru}$  衰变生成的  $\gamma$  射线, 将大部分新  $\gamma$  射线列入了纲图中, 并对原有部分  $\gamma$  射线的确认或者在纲图中的位置进行了修正, 给出了新的衰变纲图.

### 3 结果与讨论

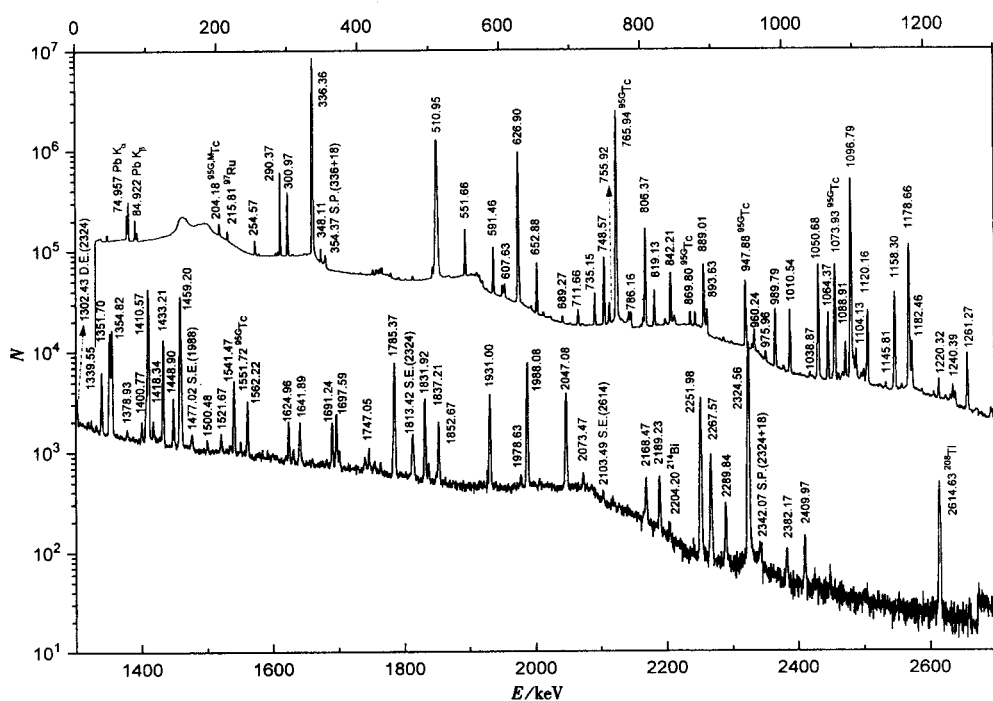
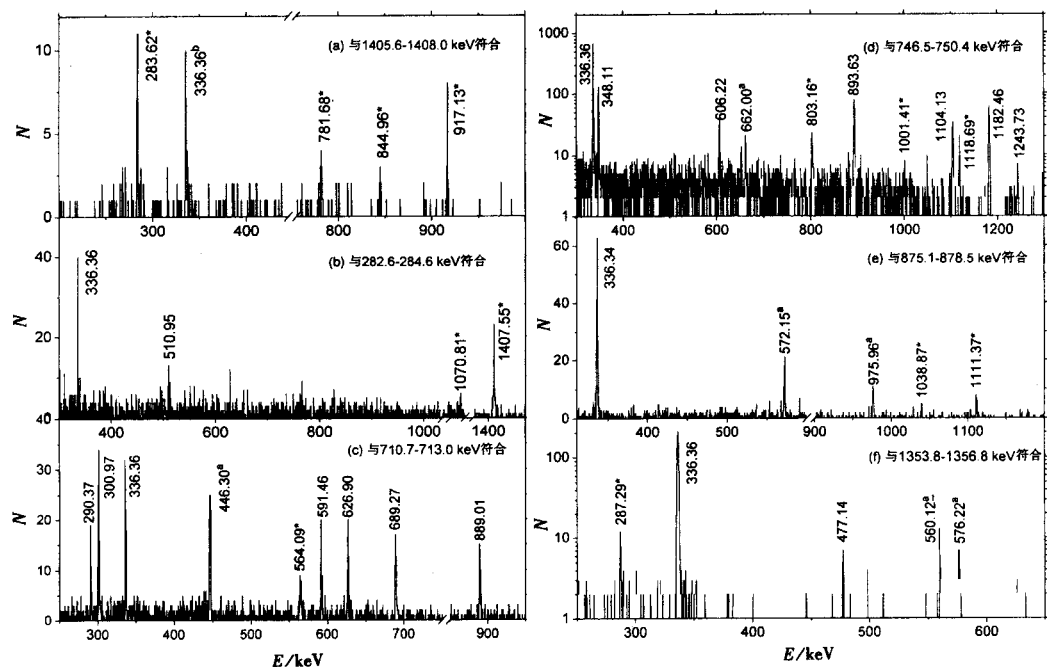


图1  $^{95}\text{Ru}$  衰变的  $\gamma$  射线单谱

S.E. 单逃逸峰, D.E. 双逃逸峰, S.P. 和峰.

图2 测量得到的<sup>95</sup>Ru衰变的γ射线谱

\* 表示新γ射线, a表示放置已肯定的γ射线, b表示偶然符合γ射线.

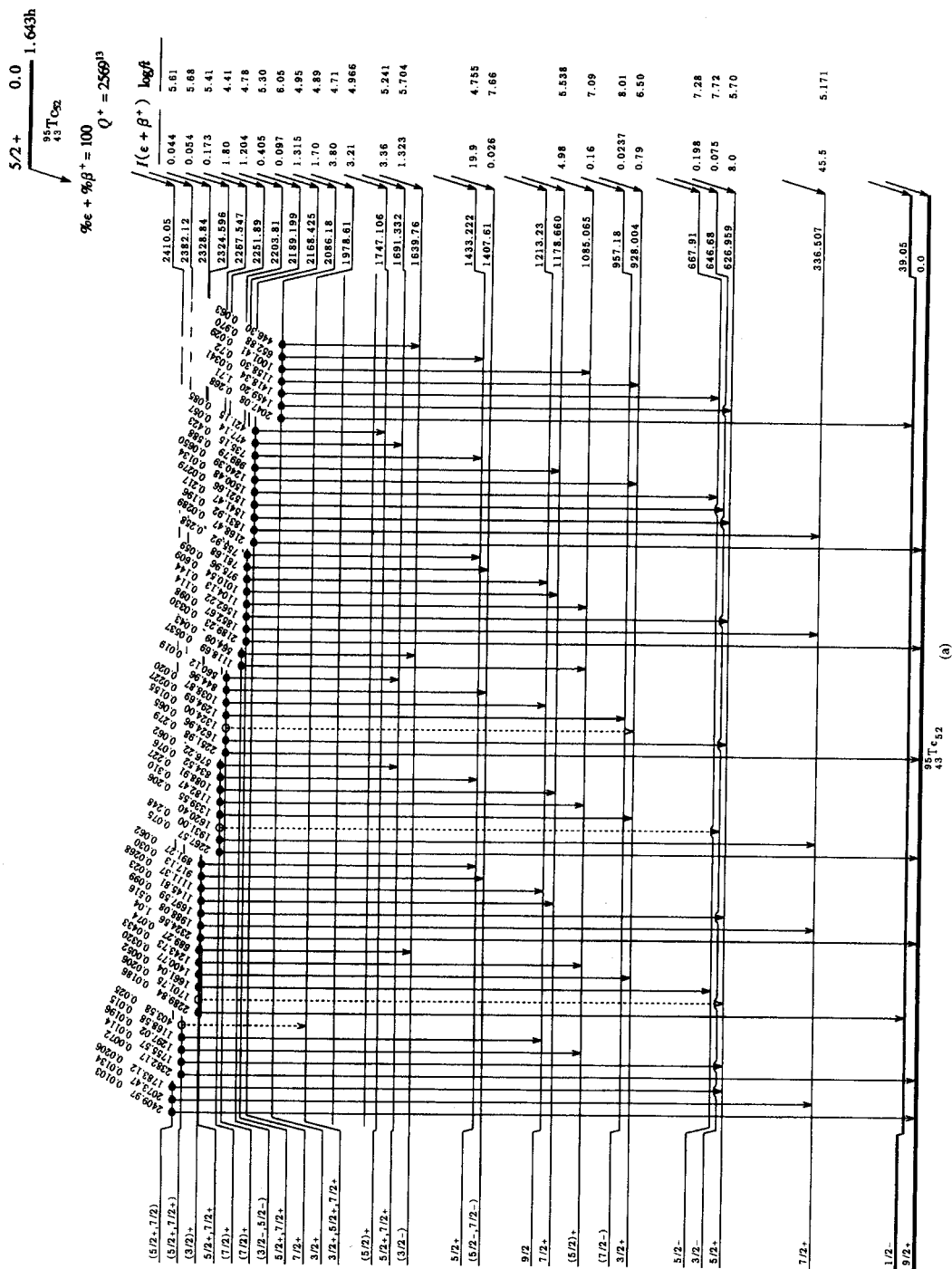
表1 <sup>95</sup>Ru衰变的γ射线的能量和相对强度

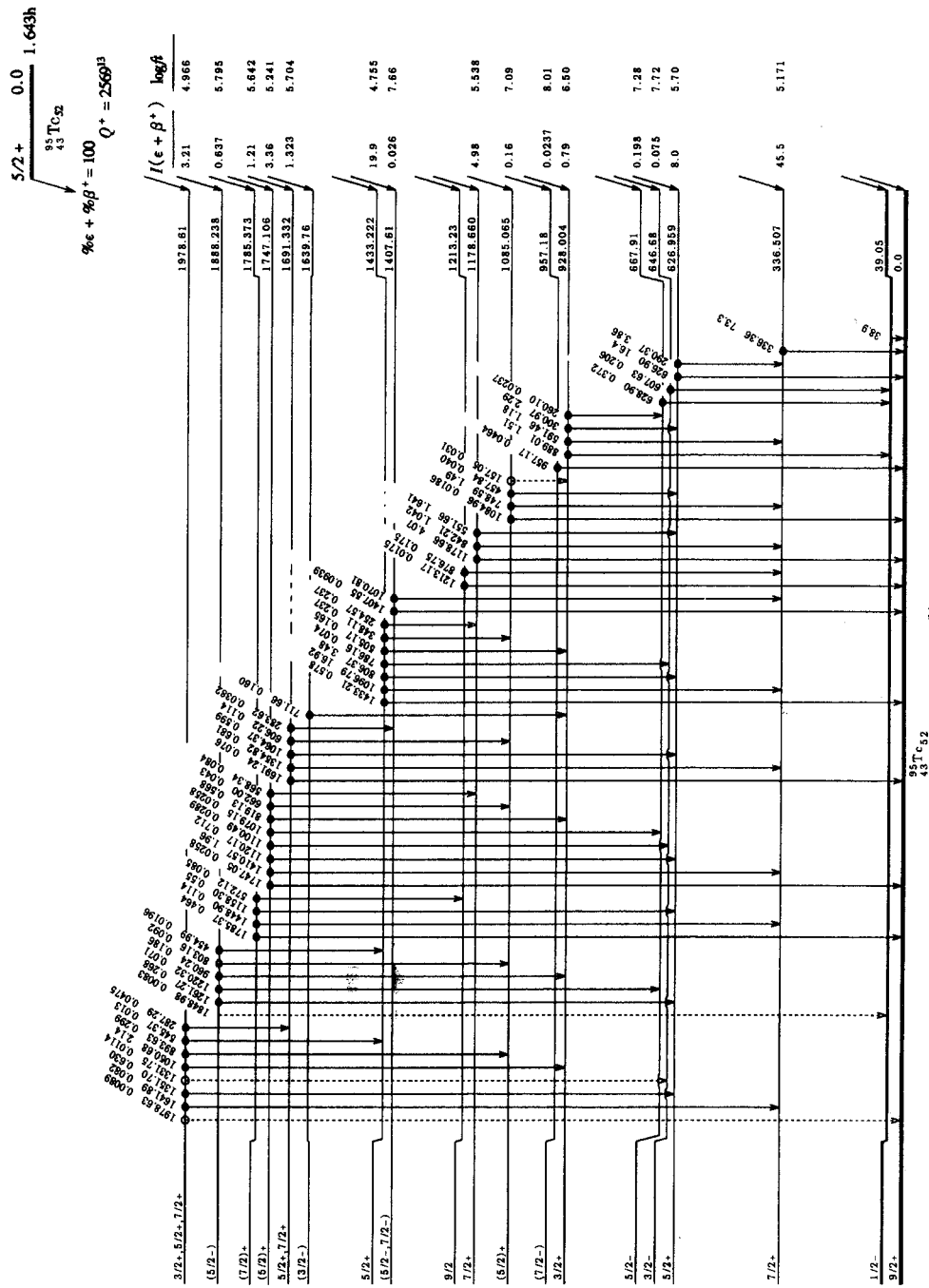
能量 (keV)	能级 (keV)	相对强度 <sup>1)</sup>		能量 (keV)	能级 (keV)	相对强度 <sup>1)</sup>	
<sup>a)</sup> 35.72 <sup>a)</sup>	15	0.021	2	568.34 <sup>a)</sup>	5	1747.106	0.081 5
38.9	39.05			572.12 <sup>a)</sup>	4	1785.373	0.082 3
157.05 <sup>a)</sup>	15	1085.065	0.030 3	576.22 <sup>a)</sup>	4	2267.547	0.060 4
254.57	4	1433.222	0.23 1	591.46	5	928.004	1.14 3
260.10 <sup>a)</sup>	7	928.004	0.023 2	606.22	6	1691.332	0.11 1
283.62 <sup>a)</sup>	6	1691.332	0.037 2	607.63	1	646.68	0.20 1
287.29 <sup>a)</sup>	5	1978.61	0.046 2	626.90	5	626.959	15.9 4
290.37	4	626.959	3.74 6	628.90	5	667.91	0.36 1
300.97	5	928.004	2.22 2	652.88	5	2086.18	0.94 2
336.36	5	336.507	71.0 6	662.00 <sup>d)</sup>	7	1747.106	0.042 4
<sup>b)</sup> 338.14 <sup>a)</sup>	5		0.68 1	689.27	9	2328.84	0.072 4
348.11	9	1433.222	0.23 1	711.66	8	1639.76	0.155 6
403.58 <sup>a)</sup>	18	2382.12	0.024 4	735.15	8	2168.425	0.41 2
421.15	7	2168.425	0.082 4	748.59	8	1085.065	1.44 4
446.30 <sup>a)</sup>	5	2086.18	0.061 4	755.92	8	2189.199	0.25 1
454.99 <sup>a)</sup>	12	1888.238	0.019 2	781.68 <sup>a)</sup>		2189.199	
457.84	8	1085.065	0.039 4	786.16 <sup>a)</sup>	10	1433.222	0.072 5
477.14	6	2168.425	0.055 7	803.16 <sup>a)</sup>	10	1888.238	0.089 3
505.17	3	1433.222	0.16 1	806.37	9	1433.222	3.37 6
545.37 <sup>a)</sup>	9	1978.61	0.013 3	819.13	7	1747.106	0.55 1
551.66	3	1178.660	1.59 2	834.52 <sup>a)</sup>	11	2267.547	0.074 5
560.12 <sup>a)</sup>	7	2251.89	0.018 3	842.21	9	1178.660	1.01 2
564.09 <sup>a)</sup>	7	2203.81	0.042 3	844.96 <sup>a)</sup>		2251.89	

续表1

能量 (keV)	能级 (keV)	相对强度 <sup>f)</sup>	能量 (keV)	能级 (keV)	相对强度 <sup>f)</sup>				
876.75	7	1213.23	0.17	1	<sup>b)</sup> 1378.93 <sup>a)</sup> 13	0.017	2		
889.01	7	928.004	1.46	4	1400.77	7	2328.84	0.031	2
891.27	8	2324.596	0.060	4	1407.55 <sup>a)</sup>	6	1407.61	0.091	2
893.63	7	1978.61	0.29	1	1410.57	5	1747.106	1.90	2
917.13 <sup>a)</sup>	11	2324.596	0.029	4	1418.34	8	2086.18	0.033	2
957.17 <sup>b)</sup>	4	957.18	0.045	2	1433.21	5	1433.222	0.56	1
960.24	4	1888.238	0.18	1	1448.90	6	1785.373	0.11	1
975.96 <sup>d)</sup>	6	2189.199	0.057	3	1459.20	4	2086.18	1.66	6
989.79	4	2168.425	0.57	1	1500.48 <sup>b)</sup>	10	2168.425	0.013	2
1001.41 <sup>a)</sup>	10	2086.18	0.028	3	1521.66 <sup>b)</sup>	8	2168.425	0.027	2
1010.54	4	2189.199	0.59	1	1541.47	4	2168.425	0.21	1
1038.87 <sup>a)</sup>	9	2251.89	0.019	3	1562.22	4	2189.199	0.11	1
1050.68	5	1978.61	2.07	2	1620.40 <sup>a,e)</sup>		2267.547		
1064.37	5	1691.332	0.58	1	1624.96	5	2251.89	0.063	3
1070.81 <sup>a)</sup>		1407.61			<sup>b)</sup> 1632.13	9		0.015	1
1079.15 <sup>a)</sup>	9	1747.106	0.025	2	1641.89	5	1978.61	0.079	4
1084.96	13	1085.065	0.018	2	1661.04 <sup>b)</sup>	18	2328.84	0.005	2
1088.91	7	2267.547	0.22	1	1691.24	5	1691.332	0.074	3
1096.79	5	1433.222	16.4	2	1697.59	5	2324.596	0.096	4
1100.49 <sup>b)</sup>	7	1747.106	0.028	2	1701.75 <sup>a)</sup>	8	2328.84	0.020	1
1104.13	5	2189.199	0.14	1	1747.05	8	1747.106	0.025	2
1111.37 <sup>b)</sup>	9	2324.596	0.026	2	1755.57	13	2382.12	0.011	2
1118.69 <sup>b)</sup>	8	2203.81	0.052	2	1783.12 <sup>b)</sup>	7	2410.05	0.020	1
1120.17	5	1747.106	0.69	2	1785.37	2	1785.373	0.45	1
1145.81 <sup>b)</sup>	9	2324.596	0.022	3	1831.92	2	2168.425	0.19	1
1158.30	5	1785.373	0.53	3	<sup>b)</sup> 1837.21	7		0.017	1
		2086.18	0.70	3	1848.98 <sup>a,e)</sup>	13	1888.238	0.008	1
1168.58 <sup>b)</sup>	12	2382.12	0.015	3	1852.67	3	2189.199	0.095	3
1178.66	2	1178.660	3.94	5	1931.00	2	2267.547	0.24	1
1182.47	2	2267.547	0.30	1	1978.63 <sup>b)</sup>	12	1978.61	0.0086	7
1213.17	10	1213.23	0.017	2	1988.08	2	2324.596	0.50	1
1220.32	6	1888.238	0.069	4	2047.08	5	2086.18	0.26	1
<sup>b)</sup> 1237.08	7		0.020	1	2073.47 <sup>b)</sup>	12	2410.05	0.013	2
1240.39	2	2168.425	0.063	2	2168.47	8	2168.425	0.028	2
1243.73	3	2328.84	0.042	2	2189.23	7	2189.199	0.032	2
1261.27	1	1888.238	0.26	1	2251.98	5	2251.89	0.27	1
1294.69 <sup>b)</sup>	5	2251.89	0.022	1	2267.57	6	2267.547	0.073	3
1297.02 <sup>b)</sup>	5	2382.12	0.019	1	2289.84	6	2328.84	0.018	1
<sup>b)</sup> 1319.31 <sup>b)</sup>	13		0.011	1	2324.56	5	2324.596	1.01	3
1324.00 <sup>b)</sup>	10	2251.89	0.015	2	2382.17	13	2382.12	0.007	1
1331.75 <sup>a,e)</sup>	12	1978.61	0.011	2	2409.97	10	2410.05	0.010	1
1339.55	4	2267.547	0.20	1	<sup>b)</sup> 2424.45 <sup>a)</sup>	31		0.0015	3
1351.70	4	1978.61	0.61	1					
1354.82	4	1691.332	0.66	1					

a) 本工作中发现的新 $\gamma$ 射线, b) 本工作中放进纲图的已知 $\gamma$ 射线, c) 本工作中确认了在纲图中原来位置的已知 $\gamma$ 射线, d) 本工作中重新确定了在纲图中位置的已知 $\gamma$ 射线, e) 在纲图中的位置不能肯定的 $\gamma$ 射线, f) 乘以系数  $1.032 \pm 8$  得到 $\gamma$ 射线的绝对强度, g) 没有列入纲图中的 $\gamma$ 射线。





(b)

图 3  $^{95}\text{Ru}$  的衰变纲图

虚箭头表示跃迁的位置不十分肯定, 空心点表示符合关系不十分肯定.

图 1 给出了 4 个样品的相加单谱, 谱中主要显示了  $^{95}\text{Ru}$  衰变产生的  $\gamma$  射线, 它们的半衰期均为  $(99 \pm 10)\text{min}$ . 经  $\alpha$  粒子轰击后的靶样中主要是  $^{95}\text{Tc}$  放射性核素的干扰, 此外还有少量的  $^{97}\text{Ru}$ . 谱中只观察到  $^{97}\text{Ru}$  的最强的  $215.81\text{keV}$  的  $\gamma$  射线和十几条都比较弱的  $^{95}\text{Tc}$  的  $\gamma$  射线, 这些  $\gamma$  射线的半衰期比  $^{95}\text{Ru}$  的  $\gamma$  射线的半衰期长得多, 易于区分. 它们的存在对  $^{95}\text{Ru}$  的  $\gamma$  射线的确定没有影响, 仅仅在形成重峰时对极少数  $^{95}\text{Ru}$   $\gamma$  射线的强度确定有影响. 单谱中还包含有 Pb X 射线、很弱的天然本底、单和双逃逸峰、最强  $\gamma$  射线与  $^{95}\text{Tc}$  X 射线的符合相加峰.

表 1 列出了  $^{95}\text{Ru}$  衰变产生的 130 条  $\gamma$  射线的能量、相对强度和起始能级. 为了便于与其它文献比较, 取  $336.36\text{keV}$   $\gamma$  射线的强度为 71.0, 其它  $\gamma$  射线的强度以它进行归一. 与最新编评<sup>[1]</sup>比较, 表中有 34 条新  $\gamma$  射线、7 条  $\gamma$  射线确定了在纲图中原来的位置、两条  $\gamma$  射线重定了在纲图中的位置、8 条  $\gamma$  射线仍未列入纲图中, 这几类  $\gamma$  射线都作了不同标记. 文献 [3] 中列出的  $312.6$ 、 $331.39$ 、 $580.8$ 、 $992.3$ 、 $1295.8\text{keV}$  5 条  $\gamma$  射线在本实验中没有观察到,  $847.70\text{keV}$  的  $\gamma$  射线被认为是单谱中最强的两条  $\gamma$  射线  $336.36\text{keV}$  与  $511\text{keV}$  的相加峰,  $1813.42\text{keV}$  的  $\gamma$  射线被认为是  $2324.56\text{keV}$  的单逃逸峰, 它们在表 1 中没有采用. 表中还列出了在本实验中测得的  $\gamma$  射线的相对强度, 从符合谱中观测到的  $781.68$ 、 $844.96$ 、 $1070.81$ 、 $1620.40\text{keV}$  4 条  $\gamma$  射线未列出它们的相对强度(见图 2(a)和图 2(b)).

在符合事件中设置了 84 个能量窗获得符合谱, 确定了绝大多数跃迁间的级联关系, 同时也清楚地分解了单谱中的一些重峰, 观察到了单谱中未分辨的一些  $\gamma$  射线. 图 2(a)—(f) 给出了部分符合谱.

图 3 给出了完整的  $^{95}\text{Ru}$  的衰变纲图. 在纲图中确定了能量为  $957.18$ 、 $1407.61$ 、 $2203.81\text{keV}$  的 3 个新能级. 对于  $2203.81\text{keV}$  的新能级, 有  $564.09\text{keV}$  与  $1118.69\text{keV}$  的两条  $\gamma$  射线从它退激. 这两条  $\gamma$  射线分别与布居在  $1639.76\text{keV}$  能级的  $711.66\text{keV}$   $\gamma$  射线和布居在  $1085.065\text{keV}$  能级的  $748.59\text{keV}$   $\gamma$  射线符合(见图 2(c)和 2(d)所示). 对于  $1407.55\text{keV}$  的新能级,  $1407.61\text{keV}$  的  $\gamma$  射线从它退激, 该  $\gamma$  射线能与布居在  $1691.332\text{keV}$  能级的  $283.62\text{keV}$   $\gamma$  射线、布居在  $2189.199\text{keV}$  能级的  $781.68\text{keV}$   $\gamma$  射线、布居在  $2251.89\text{keV}$  能级的  $844.96\text{keV}$   $\gamma$  射线和布居在  $2324.596\text{keV}$  能级的  $917.13\text{keV}$   $\gamma$  射线符合(见图 2(a)和 2(b)所示). 对于  $957.17\text{keV}$  的新能级,  $957.18\text{keV}$  的  $\gamma$  射线从它退激, 该  $\gamma$  射线能与布居  $2251.89\text{keV}$  能级的  $1294.69\text{keV}$   $\gamma$  射线符合.

通过美国核数据中心提供的 GTOL 和 LOGFT 程序对  $\gamma$  射线的强度进行平衡, 得出  $^{95}\text{Ru}$  衰变到子体  $^{95}\text{Tc}$  各激发态能级的  $\beta^+ + \text{EC}$  分支比, 计算了跃迁到各能级的 logft 值. 根据 logft 值以及能级间的跃迁关系初步确定了 3 个新能级的自旋和宇称.

作者感谢中国科学院上海原子核研究所回旋加速器工作人员和有关专家在实验中所给予的帮助.

## 参 考 文 献

- 1 Xenoulis A C, Sarantites D G. Phys. Rev., 1973, C7:1193—1206
- 2 Kramer K, Huber B W. Z. Physik, 1974, 267:117—127
- 3 Burrows T W. Nuclear Data Sheets, 1993, 68(3):717—720
- 4 Okano K, Aoki K. Annual reports of research reactor institute kyoto university, 1990, 23:24—36

Decay of  $^{95}\text{Ru}^*$ 

Fang Keming    Liu Jingyi    Shi Shuanghui    Gu Jiahui  
Zeng Jiping    Yu Xiaohan    Shen Shuifa    Li Yan

(Shanghai Institute of Nuclear Research, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** 1.65h  $^{95}\text{Ru}$  was produced and studied by  $\gamma$  ray spectroscopy of  $^{92}\text{Mo}(\alpha, n)$  reaction, 34 of the 130 observed  $\gamma$  rays following  $^{95}\text{Ru}$  decay are new. According to coincidence relations, 29 new  $\gamma$  rays were fitted into level scheme, the placement of 7  $\gamma$  rays in level scheme were confirmed, 3 new levels were assigned, a modified and expanded decay scheme was proposed.

**Key words** new  $\gamma$  ray, new level, decay scheme

---

Received 2 June 1998

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China(19575062) and Major Subject of the Chinese Academy of Sciences