

# $^{83}\text{Rb}$ 的低激发态能级结构\*

余笑寒 石双惠 顾嘉辉 刘静怡 李文新  
曾寄萍 田家祺 李 燕 周建中

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

**摘要** 用  $\gamma$  射线单谱测量和  $\gamma$ - $\gamma$ -t 符合测量研究了  $^{83}\text{Sr}(\beta^+ + \text{EC})^{83}\text{Rb}$  衰变, 将  $^{83}\text{Sr}$  衰变的  $\gamma$  跃迁由 102 条扩展到 196 条, 发现了  $^{83}\text{Rb}$  的 19 条新能级, 否定了前人测得的 8 条能级. 测定了  $^{83}\text{Sr}(\beta^+ + \text{EC})$  衰变的分支比, 重新确定了  $^{83}\text{Rb}$  各能级的自旋和宇称值.

**关键词**  $\beta^+ + \text{EC}$  衰变 核结构  $\gamma$  谱学 衰变纲图

## 1 引言

由于 Rb 同位素的质子数接近形变幻数 38, 包含了非常丰富的核结构信息, 使得对这些核的理论和实验研究都具有吸引力<sup>[1]</sup>. 近年来大量的高自旋带研究加深了人们对该区域附近核结构的认识<sup>[2-4]</sup>, 而了解核的低激发态能级有助于确定高自旋态能级的能量、自旋宇称以及确立从高自旋带到低自旋态的跃迁模式. 研究  $^{83}\text{Sr}$  的  $\beta^+ + \text{EC}$  衰变为获得  $^{83}\text{Rb}$  低能级结构信息提供了良好途径. 原有的  $^{83}\text{Sr}$  衰变纲图<sup>[5]</sup>的能级根据 Etherton 等<sup>[6]</sup>和 Brada 等<sup>[7]</sup>的实验结果给出, 而跃迁能量和相对强度则采用了 Grutter<sup>[8]</sup>测定的更精确的数据. 它们之间存在许多矛盾之处, 很多  $\gamma$  射线的能量与能级能量差之间的差异大于能量测量误差的 3 倍, 有 16 条属于  $^{83}\text{Sr}$  衰变的  $\gamma$  射线未能编入衰变纲图, 另外有 12 条没有作成份分解的  $\gamma$  射线被放入纲图中两个以上的位置. 造成上述问题的原因是  $\gamma$ - $\gamma$  级联关系不清楚,  $\gamma$  射线能量的精度较差和没有分辨单谱中多重峰. 为建立更精确的衰变纲图, 我们重新研究了  $^{83}\text{Sr}$  的衰变.

## 2 实验步骤

用上海原子核所回旋加速器提供的 27.1 MeV、10  $\mu\text{A}$  质子束照射天然 RbCl 靶片 (0.5 g /  $\text{cm}^2$ ) 约 10 h, 通过核反应  $^{85}\text{Rb}(p, 3n\gamma)^{83}\text{Sr}$ . 将辐照过的靶冷却约 20 h 后溶解在

1997-11-11 收稿, 1998-05-20 收修改稿

\* 国家自然科学基金(19575062)资助

含  $\text{Sr}^{2+}$  载体的稀硝酸溶液中, 在溶液中加入少量浓硫酸沉淀出  $\text{SrSO}_4$ , 用稀硫酸洗涤沉淀制成样品源. 样品源中残留有极少量的  $^{85}\text{Sr}$ 、 $^{83,84}\text{Rb}$  和  $^{131}\text{Ba}$  等放射性杂质.

单谱用带反康抑制的同轴型高纯锗低本底谱仪测量, 探测器体积为  $130\text{cm}^3$ , 对  $1332\text{keV}$   $\gamma$  射线的能量分辨率为  $1.9\text{keV}$ , 测量区间为  $30\text{--}2650\text{keV}$ , 积分本底计数率为  $0.7/\text{s}$ , 对  $^{137}\text{Cs}$  康普顿坪的抑制约为 7.9. 样品源与探测器相距  $22\text{cm}$ , 全谱的计数率限制在  $2000/\text{s}$  以下, 对 3 个源分别跟踪测量了 10 个 8h 的  $\gamma$  射线能谱. 另外用两片  $3\text{mm}$  厚的铅片吸收正电子, 测量了  $\beta^+$  湮灭  $\gamma$  射线相对强度. 符合数据用 ORTEC 公司的 GEM-50195 型探头和 GMX-20190 型探头测量, 两台探测器对  $1332\text{keV}$   $\gamma$  射线实测能量分辨率分别是  $2.0\text{keV}$  和  $1.85\text{keV}$ , 探测器相互夹角为  $90^\circ$ , 符合系统对  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线的分辨时间约为  $20\text{ns}$ . 用多参数数据获取系统把  $\gamma\text{--}\gamma\text{--}t$  以事件方式记录在硬盘上, 共获取了约  $10^7$  个有效符合事件.

### 3 $\gamma$ 跃迁能量、强度和符合关系的实验结果

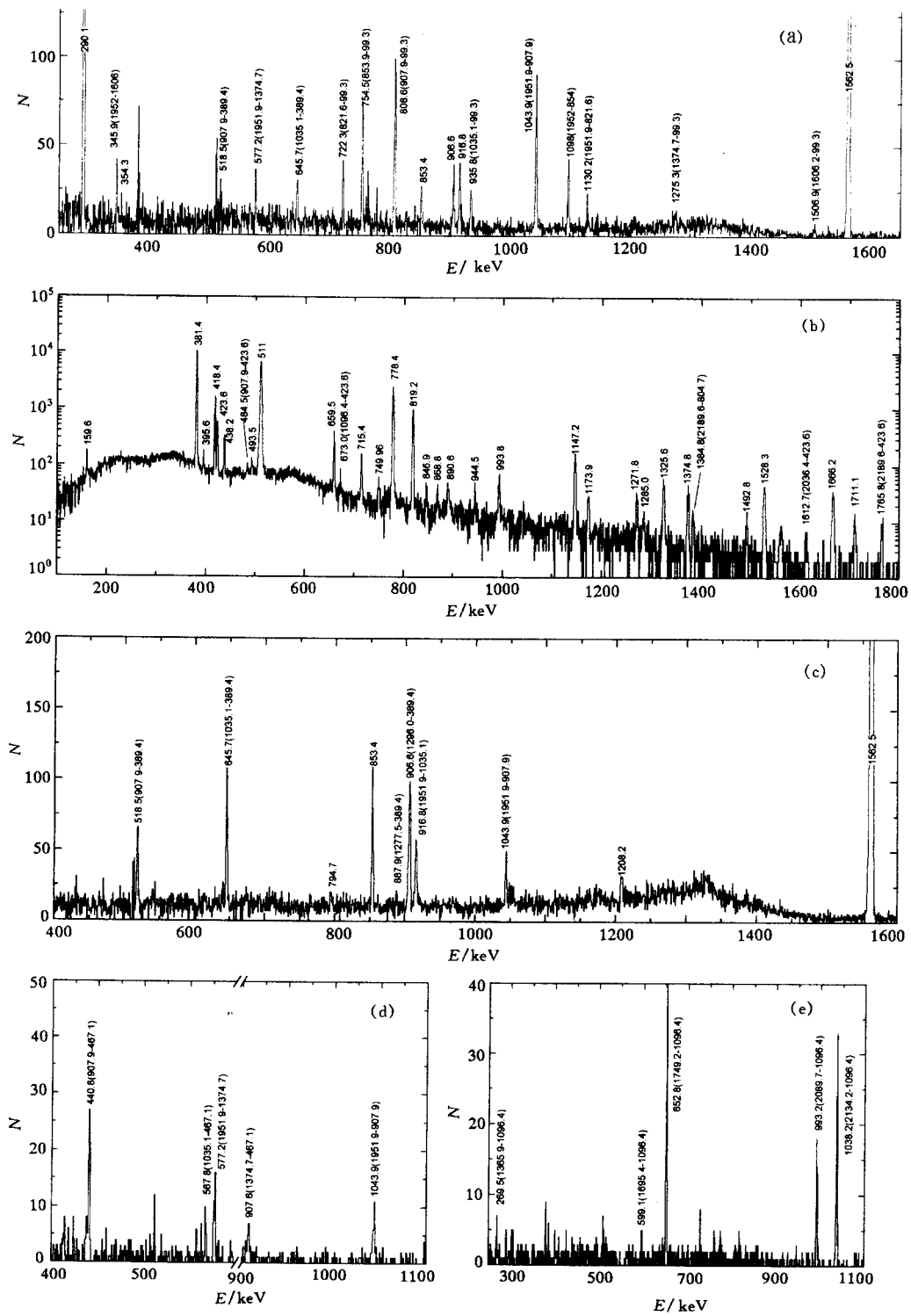
本工作采用了可人工修正的自动寻峰和解谱软件对  $^{83}\text{Sr}$  单谱进行峰型拟合, 用单能峰对探测器的峰形参数进行刻度, 对多重峰分解非常有效. 由于探测器性能更好, 积累的计数更多, 并且进行了精细的重峰分解, 测到  $^{83}\text{Sr}$  衰变的  $\gamma$  射线从原有的 102 条扩展到 196 条. 对每条  $\gamma$  射线根据半衰期进行了鉴别, 排除杂质、本底  $\gamma$  射线和偶然相加峰; 通过比较反康谱和无反康抑制谱排除了正电子逃逸峰. 单谱测得的  $\gamma$  射线大都在符合谱中得到证实. 本实验证明原有的  $930$ 、 $1125$  和  $1440\text{keV}$  等 3 条  $\gamma$  射线是逃逸峰, Broda 等测到的  $156.8$ 、 $682.9$ 、 $831$ 、 $1078$  和  $1624.7\text{keV}$  等  $\gamma$  射线在本实验中没有得到确认. 测到的  $\gamma$  射线能量和强度在误差范围内与 Grutter 的实验结果相一致, 但  $1946.7\text{keV}$   $\gamma$  射线的相对强度只有 Grutter 实验值的约  $1/3$ .

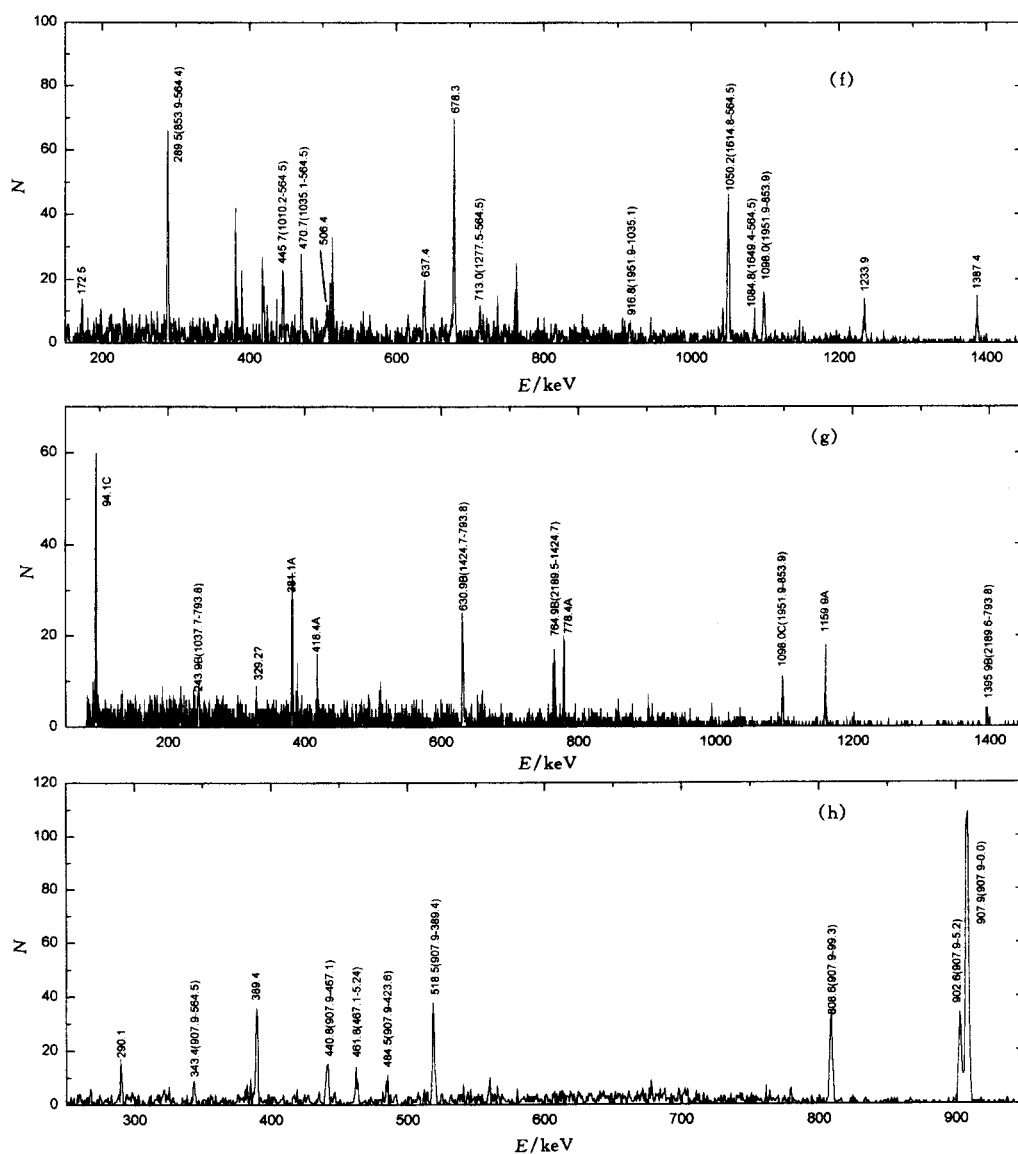
在符合事件中设置 70 余个能量窗获得符合谱, 确定了绝大多数跃迁间的级联关系, 也对单谱中能量很接近的重峰分解提供了支持. 另外在符合谱中也发现了一些单谱中未分辨的新  $\gamma$  射线, 根据符合谱可得到这些  $\gamma$  射线的能量和相对强度. 图 1 显示了部分符合谱.

### 4 能级纲图和讨论

根据  $\gamma$  射线级联关系建立了新的能级纲图(图 2). 由  $\beta^+$  湮灭  $\gamma$  射线相对强度、各能级跃迁强度平衡结合  $\beta^+$  和 EC 衰变强度比的理论值得到  $^{83}\text{Sr}$  衰变到  $^{83}\text{Rb}$  基态的分支比为  $14.3\%$ , 然后推算出各激发能级的衰变分支比. 各能级的自旋宇称根据  $\log ft$  值和  $\gamma$  跃迁选择定则, 并考虑已有的内转换系数和角关联实验数据重新进行了设定. 下面分别说明本实验新发现的能级的建立依据及部分能级自旋宇称的设定.

$2189.5\text{keV}$  能级: 根据  $762.6\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $1384.8\text{keV}$   $\gamma$  射线符合,  $381.1$ 、 $381.5\text{keV}$   $\gamma$  射线分别与  $1384.8$ 、 $1765.8\text{keV}$   $\gamma$  射线符合(图 1(b)), 可确定存在该能级. 由  $\log ft = 4.9$  及跃迁到  $5/2^+$  和  $13/2^+$  能级的  $\gamma$  射线, 确定其自旋宇称为  $(9/2^+)$ .



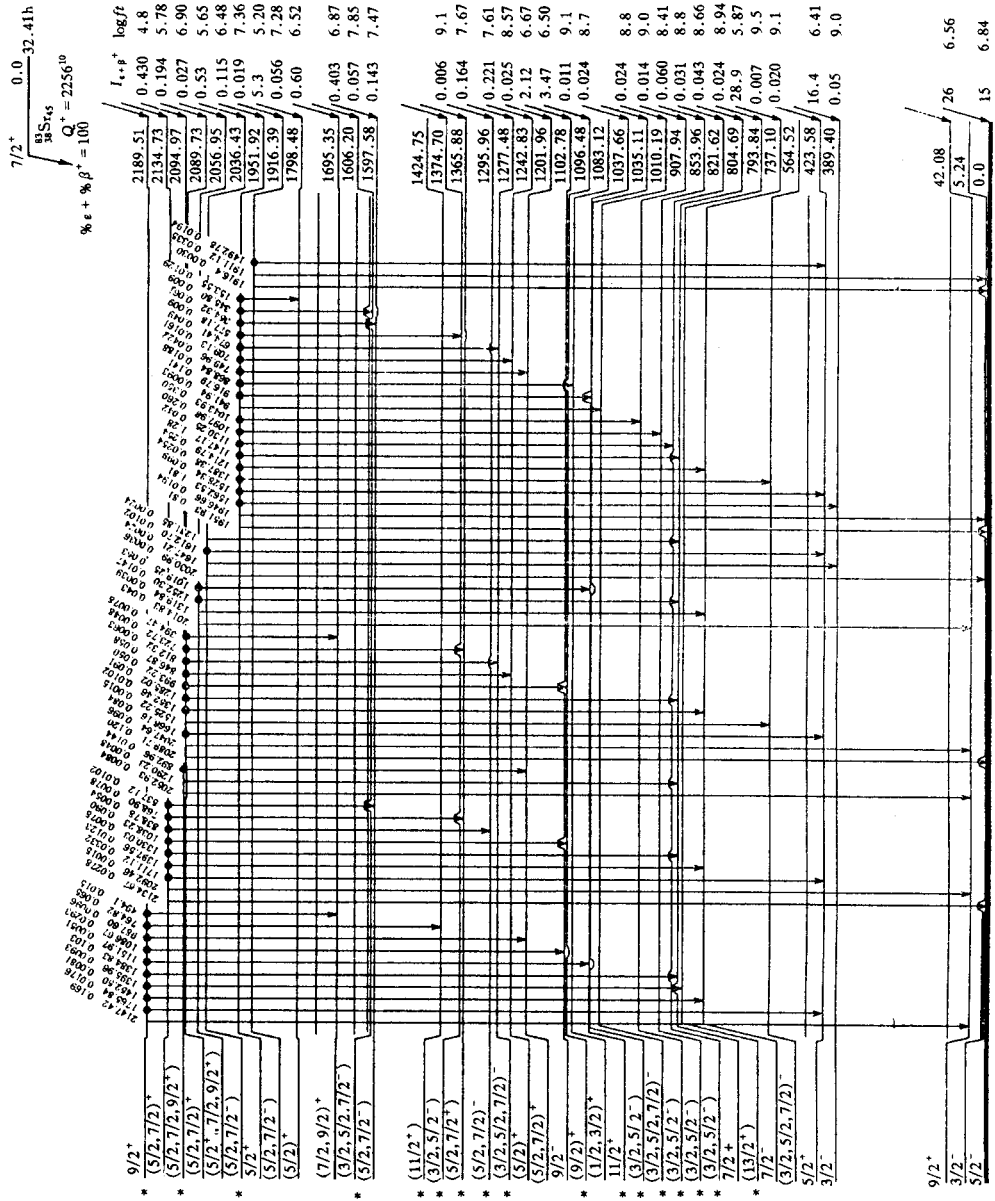
图 1 部分  $\gamma$ - $\gamma$  符合谱

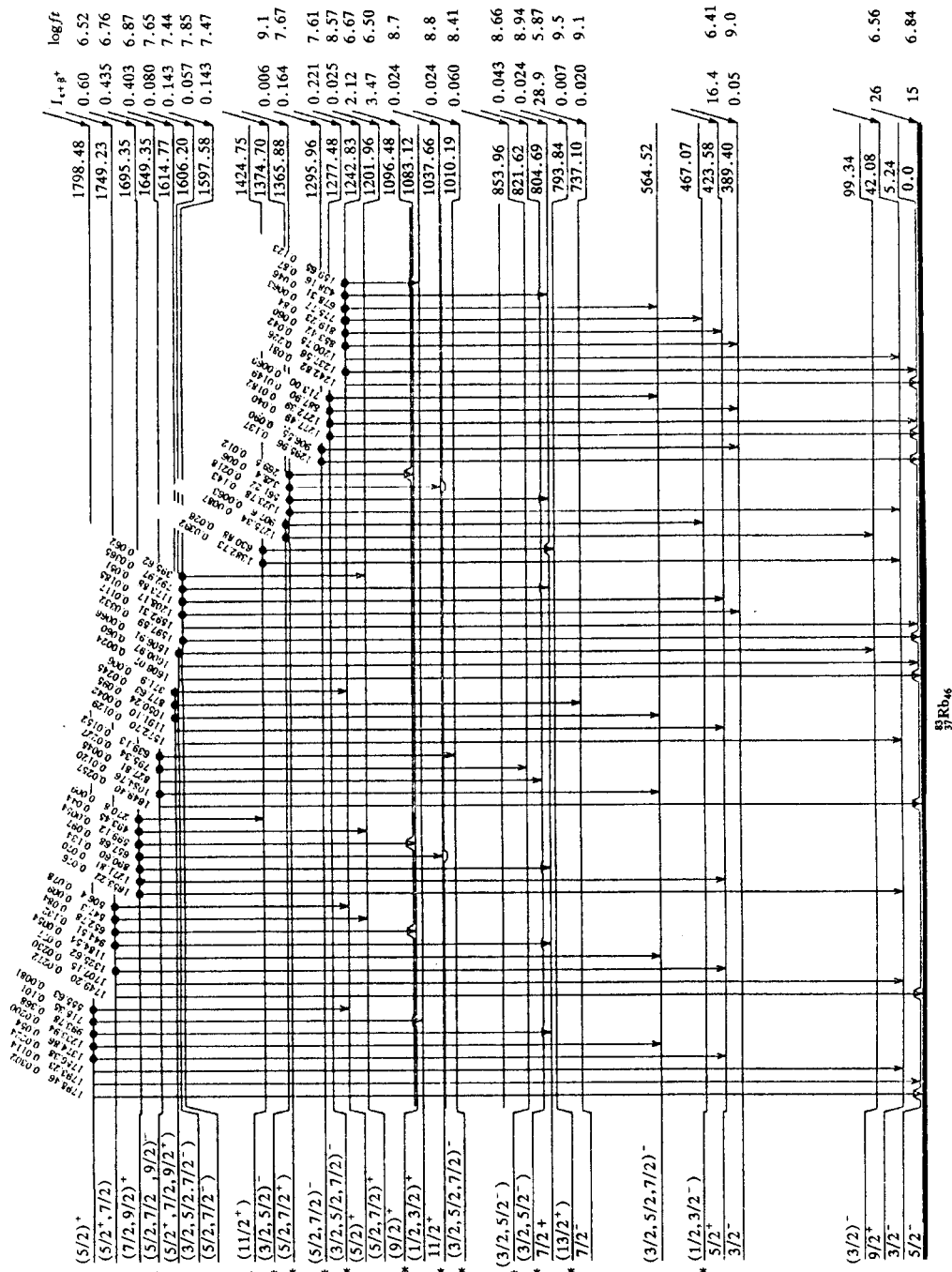
图中括号中的数字是该  $\gamma$  射线在纲图中的位置。(a)  $\sim 94\text{keV}$  置门; (b)  $380\text{--}382\text{keV}$  置门; (c)  $\sim 389\text{keV}$  置门; (d)  $\sim 462\text{keV}$  置门; (e)  $\sim 1054\text{keV}$  置门; (f)  $\sim 559\text{keV}$  置门; (g)  $749\text{--}755\text{keV}$  置门(A: 与  $749.9$  符合; B: 与  $751.7$  符合; C: 与  $754.6$  符合); (h)  $\sim 1044\text{keV}$  置门。

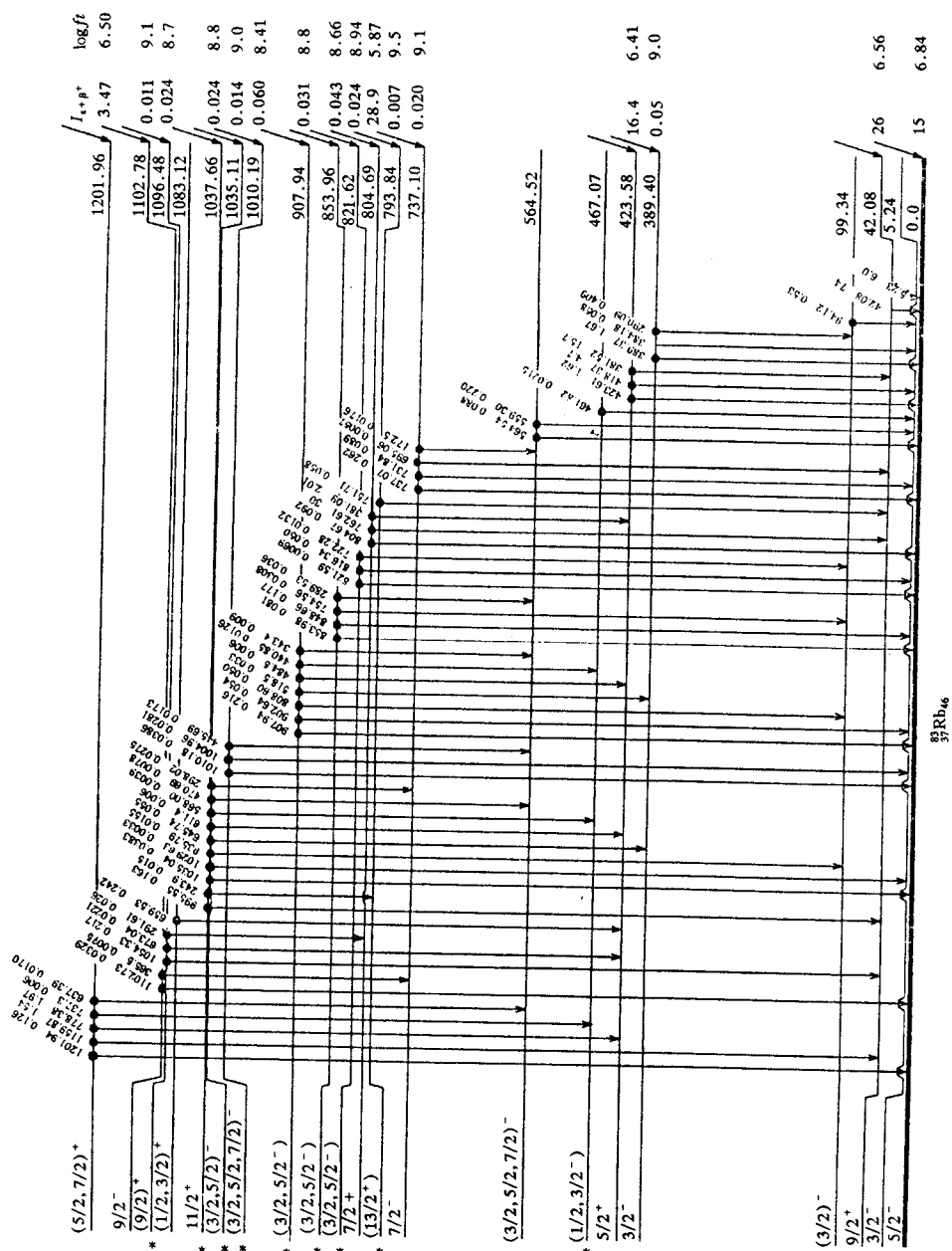
821.6keV 能级: 根据  $1130.2\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $821.6$ 、 $816.3$  和  $722.3\text{keV}$   $\gamma$  射线符合, 结合  $94.1\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $722.3\text{keV}$   $\gamma$  射线符合(图 1(a)), 可确定存在该能级。

853.9keV 能级:  $1098.0\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $854.0$ 、 $848.7$ 、 $754.6\text{keV}$ (图 1(g)) 等  $\gamma$  射线符合,  $94.1\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $754.6\text{keV}$   $\gamma$  射线符合(图 1(a)) 及  $559.3\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $289.5\text{keV}$   $\gamma$  射线符合(图 1(f)) 证明了该能级的存在。

907.9keV 能级: 根据  $1044.0\text{keV}$   $\gamma$  射线与  $907.9$ 、 $902.6$ 、 $808.6$ 、 $518.5\text{keV}$  等  $\gamma$  射线符合





图2  $^{83}\text{Sr}$  衰变纲图

\* 新测到的能级, ● 符合谱中观测的跃迁。

(图 1(h)), 94.1keV  $\gamma$  射线与 808.6keV  $\gamma$  射线符合(图 1(a))以及 389.4keV  $\gamma$  射线与 518.5keV  $\gamma$  射线符合, 可确定存在该能级.

1035.1keV 能级: 该能级根据 389.4keV  $\gamma$  射线与 645.7keV  $\gamma$  射线符合(图 1(c)), 916.8keV  $\gamma$  射线与 1035.0keV  $\gamma$  射线符合, 94.1keV  $\gamma$  射线与 935.8keV  $\gamma$  射线符合(图 1(a)), 559.3keV  $\gamma$  射线与 470.7keV  $\gamma$  射线符合(图 1(f))等关系建立.

1606.2keV 能级: 94.1keV  $\gamma$  射线与 1506.9、345.8keV  $\gamma$  射线符合(图 1(a)), 考虑能量关系, 可确定能级  $1951.9 \Rightarrow 1606.2 \Rightarrow 99.3 \Rightarrow 5.2$  级联跃迁关系.

1037.6keV 能级: 根据 995.6keV  $\gamma$  射线与 657.7、1019.2keV  $\gamma$  射线符合可确定存在该能级, 从跃迁关系判断它就是 Gast 测到的  $(11/2^+)$  能级<sup>[2]</sup>. 原衰变纲图中<sup>[5]</sup>的 1036.5keV 能级是 1035.1、1037.6 两能级的混合.

793.8keV 能级: 设立该能级的依据是 751.7keV  $\gamma$  射线与 1395.9、243.9keV  $\gamma$  射线符合(图 1(g)). 该能级没有  $\beta^+ + \text{EC}$  跃迁分支比, 与高自旋态实验<sup>[2]</sup>测到的  $(13/2^+)$  能级是一致的.

1424.7keV 能级: 建立该能级的依据是 630.9keV  $\gamma$  射线与 751.7、764.8keV  $\gamma$  射线符合(图 1(g))及 1382.7keV  $\gamma$  射线与 764.8keV  $\gamma$  射线符合. 因为没有  $\beta^+ + \text{EC}$  跃迁分支且只观测到与  $9/2^+$ ,  $13/2^+$  能级间的跃迁, 我们指定该能级是  $(11/2^+)$ .

1096.5keV 能级: Broda<sup>[7]</sup>以 1054keV  $\gamma$  射线与 1035keV  $\gamma$  射线符合为由, 指定了 1054.5keV 能级. 本实验表明实际上 1054.3keV  $\gamma$  射线与 652.8、993.2、1038.2keV 等  $\gamma$  射线符合(图 1(e)), 因此存在 1096.5 能级. 本实验证实了在束实验<sup>[2]</sup>中发现的同一能级, 根据角关联实验<sup>[9]</sup>指定其自旋宇称为  $(9/2^+)$ .

1365.9 keV 能级: 根据 762.6、1323.8、1054.3keV  $\gamma$  射线分别与 561.2、723.7 和 269.5keV  $\gamma$ (图 1(e))射线符合确定存在该能级.

2095.0keV 能级: 设立该能级的依据是 1159.9keV  $\gamma$  射线与 893.0keV  $\gamma$  射线符合, 且单谱中测到的 2052.9、1290.2keV  $\gamma$  射线, 可定为本能级到 42.1、804.7keV 能级的跃迁.

1010.2keV 能级: 根据 559.3keV 与 445.7keV  $\gamma$  射线符合(图 1(f))以及 639.1keV  $\gamma$  射线与 1010.2、1005.0keV  $\gamma$  射线符合可知存在该能级.

1277.5keV 能级: 389.4keV  $\gamma$  射线与 887.9keV  $\gamma$  射线符合(图 1(c)), 674.4keV  $\gamma$  射线与 1277.5keV  $\gamma$  射线符合支持设立该能级, 符合谱还证实单谱中分解出的 1272.4keV  $\gamma$  射线是从该能级跃迁.

467.1, 1374.7keV 能级: 根据 1044.0keV  $\gamma$  射线与 461.8、440.9keV  $\gamma$  射线符合(图 1(d, h))及 461.8keV  $\gamma$  射线与 440.9、568.0keV  $\gamma$  射线符合(图 1(d))可确定存在 467.1keV 能级. 根据 577.2keV  $\gamma$  射线与 461.8(图 1(d))、1275.3keV  $\gamma$  射线符合, 1275.3keV  $\gamma$  射线与 94.1keV  $\gamma$  射线符合(图 1(a))可确定存在 1374.7keV 能级.

1296.0keV 能级: 389.4keV  $\gamma$  射线与 906.5keV  $\gamma$  射线符合(图 1(c))以及 1296.0keV  $\gamma$  射线与 838.8keV  $\gamma$  射线符合证明存在该能级.

1614.8keV 能级: 支持设立该能级的证据有 1050.2keV  $\gamma$  射线与 559.3、564.5keV  $\gamma$  射线符合(图 1(f)), 737.1keV  $\gamma$  射线与 877.6keV  $\gamma$  射线符合. 根据能量关系, 新测到的 1572.7keV  $\gamma$  射线是该能级到 42.1keV 能级的跃迁.



1649.3keV 能级: 根据本实验, 原纲图中 1748.6keV 能级的能量修正为 1749.2keV, 因此 1649.4keV  $\gamma$  射线在原纲图中的位置从能量关系看是不合理的; 根据 854.0、848.7keV  $\gamma$  射线与 795.3keV  $\gamma$  射线符合, 以及 559.3keV  $\gamma$  射线与 1084.8keV  $\gamma$  射线符合(图 1(f))可知存在 1649.3keV 能级.

2036.40keV 能级: 设立该能级的依据是在 381.5keV  $\gamma$  射线与弱的 1612.7keV  $\gamma$  射线符合(图 1(b)). 根据能量关系, 1647.2、2031.0keV 等弱 $\gamma$  射线设定为从该能级退激的跃迁.

原纲图中的一些能级在本实验中未得到符合数据的支持, 但与其相关的 $\gamma$  射线根据符合和能量关系可以放置在新纲图中, 所以这些能级未收入新纲图. 这些能级的能量: 760.0、1044.1、1054.5、1085.5、1808.4、2020.2、2147.3 和 2178.2keV.

根据半衰期检验指定为 $^{83}\text{Sr}$  衰变而又不能放入纲图的 7 条 $\gamma$  射线的能量和相对强度(以 762.6 $\gamma$  射线强度为 100 归一化)如表 1 所示.

表1 未放入纲图的 $\gamma$  射线能量和相对强度

$E/\text{keV}$	758.2	856.8	1498.6	1608.9	1709.4	1777.9	1873.7
相对强度	0.08	0.017	0.005	0.007	0.013	0.082	0.108

编评<sup>[5]</sup>认为衰变实验测得的 1103.3keV 能级通过 1098keV  $\gamma$  射线衰变到第一激发态( $3/2^-$ ), 因此不是在束实验中测到的 1102.7keV 能级. 本工作将该能级能量修正为 1102.8keV, 并根据符合关系, 证明 1098keV  $\gamma$  射线从 1952keV 能级跃迁, 实验表明 1102.8keV 能级的退激方式与在束实验得到 1102.7keV 能级相一致, 且跃迁选择定则也支持自旋宇称  $9/2^-$  的设置, 应该是同一能级.

## 参 考 文 献

- [1] Nazarewicz W, Dubek J, Bengtsson R et al. Nucl. Phys., 1985, **A435**:397—447
- [2] Gast W, Dey K, Gelberg A et al. Phys. Rev., 1980, **C22**:469—481
- [3] Doring J, Schwengner R, Funke L et al. Phys. Rev., 1994, **C50**:1845~1850
- [4] Baktash C, Cullen D M, Garrett J D et al. Phys. Rev. Letts., 1995, **74**:1946—1949
- [5] Browne E. Nuclear Data Sheets, 1992, **66**:281—346
- [6] Etherton R C, Beyer L M, Kelly W H et al. Phys. Rev., 1968, **168**:1249—1265
- [7] Broda R, Hryniewicz A Z, Styczen J et al. Nucl. Phys., 1973, **A216**:493—518
- [8] Grutter A. Int. J. Appl. Radiat. Isotop., 1982, **33**:456—461
- [9] Жовлиеву И, et al. ИзвАН СССР. Сер. физ., 1985, **T49**:2096—2103

## Low-lying Level Structure of $^{83}\text{Rb}$ \*

Yu Xiaohan Shi Shuanghui Gu Jiahui Liu Jingyi Li Wenxin

Zeng Jiping Tian Jiaqi Li Yan Zhou Jianzhong

(Shanghai Institute of Nuclear Research, The Chinese Academy of Science, Shanghai 201800)

**Abstract** The decay of  $^{83}\text{Sr}$  has been reinvestigated using  $\gamma$  singles and  $\gamma$ - $\gamma$ -t coincidence measurement. The number of  $\gamma$  transitions assigned to  $^{83}\text{Sr}$  decay has been expanded from 102 to 196.19 new levels of  $^{83}\text{Rb}$  are added to the old level scheme and 8 formerly adopted levels are denied by the present study. New data of branching ratio,  $\log ft$  value and spin-parity are also obtained.

**Key words**  $\beta^+$  + EC decay, nuclear structure,  $\gamma$  spectroscopy, decay scheme