

## $^{101}\text{Mo}$ 衰变的研究\*

沈水法 李 燕 石双惠 顾嘉辉 刘静怡 方克明 周建中

(中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

**摘要** 采用  $\gamma$ - $\gamma$ - $t$  三参数快慢符合谱仪研究了  $^{101}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{101}\text{Tc}$  的衰变, 利用符合测量结果构造了一个新的  $^{101}\text{Mo} \xrightarrow{\beta^-} ^{101}\text{Tc}$  的衰变纲图. 首次确定了 104.70, 105.95, 774.15keV  $\gamma$  射线的位置. 首次观测到 1508.01keV 的  $\gamma$  射线并确认了其跃迁位置.

**关键词** 衰变  $\gamma$  射线 能级 符合

### 1 引言

$^{101}\text{Mo}$  具有较大的  $\beta^-$  衰变能和复杂的衰变  $\gamma$  谱, 并且许多  $\gamma$  射线以双重线或三重线出现, 其间隔为几个 keV 甚至更小. 1993 年 M. A. Hammed 等<sup>[1]</sup> 用热中子活化高纯 Mo 金属线和  $\text{Mo}_2\text{O}_3$  的方法得到放射性核  $^{101}\text{Mo}$ , 然后测量  $^{101}\text{Mo}$  的衰变  $\gamma$  射线, 该工作中有许多被确认属于  $^{101}\text{Mo}$  衰变的  $\gamma$  射线未放入纲图中. 1997 年 D. G. Savage<sup>[2]</sup> 等通过  $^{100}\text{Mo} (^3\text{He}, \text{pn}\gamma)^{101}\text{Tc}$  反应, 采用在束  $\gamma$  谱学方法研究  $^{101}\text{Tc}$  的核结构, 实验测量了  $\gamma$  射线激发函数、 $\gamma$  射线角分布, 并用粒子-转子模型解释了实验结果. 仔细分析前一工作所得  $^{101}\text{Mo}$  的衰变纲图和后一工作所得  $^{101}\text{Tc}$  的能级图, 发现有一些差异, 如 515.42keV  $\gamma$  射线在文献[1]中确认为从能级 1122.04keV 至 606.46keV 的跃迁, 但在文献[2]中能量为 515.1keV 的  $\gamma$  射线确认为从 515.16keV 至 0.00keV 的跃迁. 为了得到更新的、更准确的实验数据, 我们采用高分辨率的 HpGe 探测器对  $^{101}\text{Mo}$  的衰变  $\gamma$  进行了研究.

### 2 实验与结果

实验用同位素  $^{100}\text{Mo}$  做靶, 用中国科学院上海原子核所  $K=40$  的回旋加速器产生的 16MeV, 5 $\mu\text{A}$  的氘束穿过 20 $\mu\text{m}$  厚的 Havar 膜轰击  $^9\text{Be}$ , 产生能量约为 6MeV 的中子<sup>[3]</sup>, 再轰击包在铝箔里的粉末  $^{100}\text{Mo}$ . 中子和  $^{100}\text{Mo}$  反应的主要反应道为  $^{100}\text{Mo}(n, \gamma)^{101}\text{Mo}$ ,  $^{100}\text{Mo}$

1999-03-02 收稿

\* 国家自然科学基金(19575062)和中国科学院“九五”重点基金资助

(n,2n)<sup>99</sup>Mo, <sup>100</sup>Mo(n,α)<sup>97</sup>Zr, 其中生成<sup>101</sup>Mo 的反应占主要地位, 这一点可以从<sup>101</sup>Mo 的单谱上看出. 使用<sup>152</sup>Eu, <sup>56</sup>Co 放射源对谱仪进行了能量刻度和相对效率刻度. 实验中共轰击<sup>100</sup>Mo 靶 20 次, 每个靶照射和测量时间分别为 30min 和 45min, 采用 γ-γ-t 三参数快

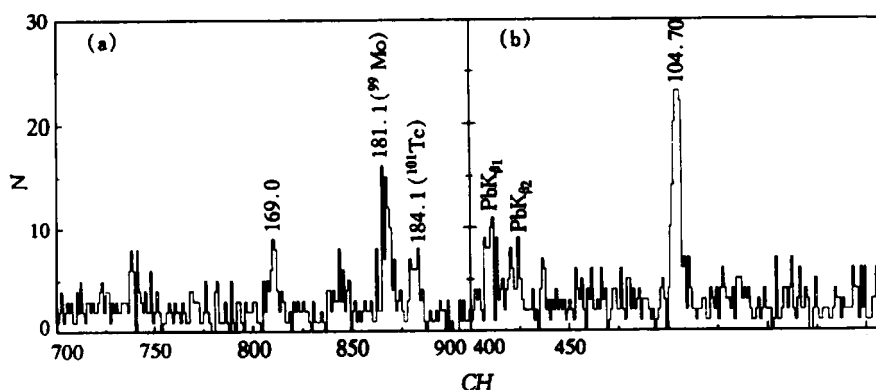
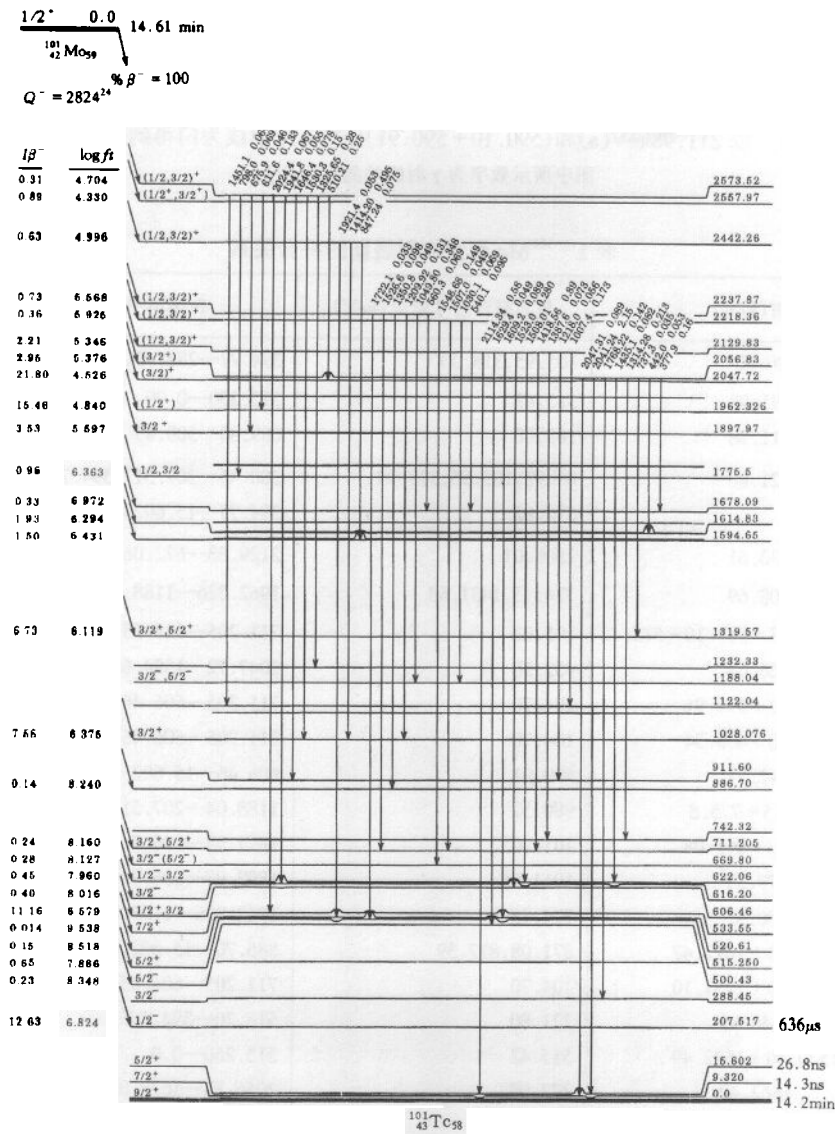


图 1 以 211.98keV(a)和(590.10 + 590.91)keV(b)γ 射线为门得到的符合谱  
图中所示数字为 γ 射线的能量(keV).

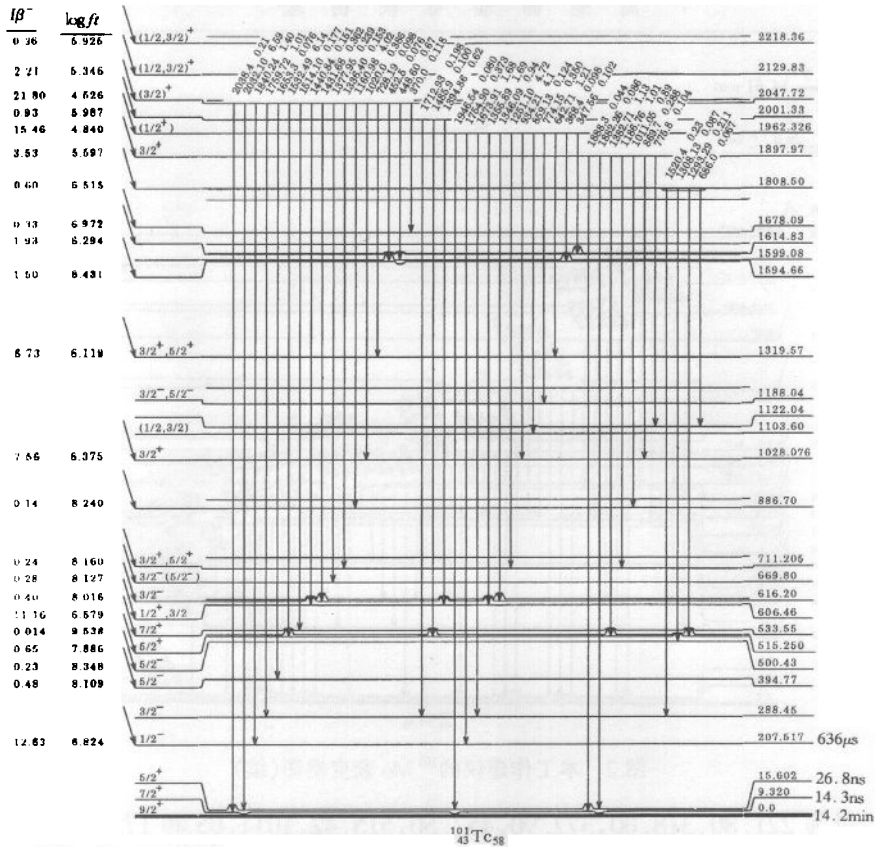
表 1 <sup>101</sup>Mo 衰变 γ 射线新的符合关系

开窗(keV)	与之符合的 γ 射线(keV)	在纲图中的位置(keV)
80.92	105.95,318.00	394.77—288.45,606.46—288.45
195.93	515.42	515.250—0.00
211.98	169.00	669.80—500.43
221.80	80.92,105.95,378.99, 571.62	288.45—207.517,394.77—288.45, 394.77—15.602,1188.04—616.20
333.61	1508.01	2129.83—622.06
408.69	774.15,1431.68	1962.326—1188.04,2047.72—616.20
510.21 + 512.83 + 514.10 + 515.42	195.93	711.205—515.25
566.62	452.50	2047.72—1594.65
590.10 + 590.91	104.70	711.205—606.46
606.80 + 608.34	104.70	711.205—606.46
642.71	590.91	606.46—15.602
774.15 + 775.8	980.52	1188.04—207.517
869.70 + 871.08	1011.05	1897.97—886.7
877.39	1011.05	1897.97—886.7
980.52	774.15	1962.326—1188.04
1011.05 + 1012.47	871.08,877.39	886.70—15.602,886.70—9.32
1249.40 + 1251.10	104.70	711.205—606.46
1346.09	221.80	616.20—394.77
1530.30 + 1532.49	515.42	515.250—0.0
1662.49	377.90	2056.83—1678.09
1754.90 + 1759.72	80.92	288.45—207.517

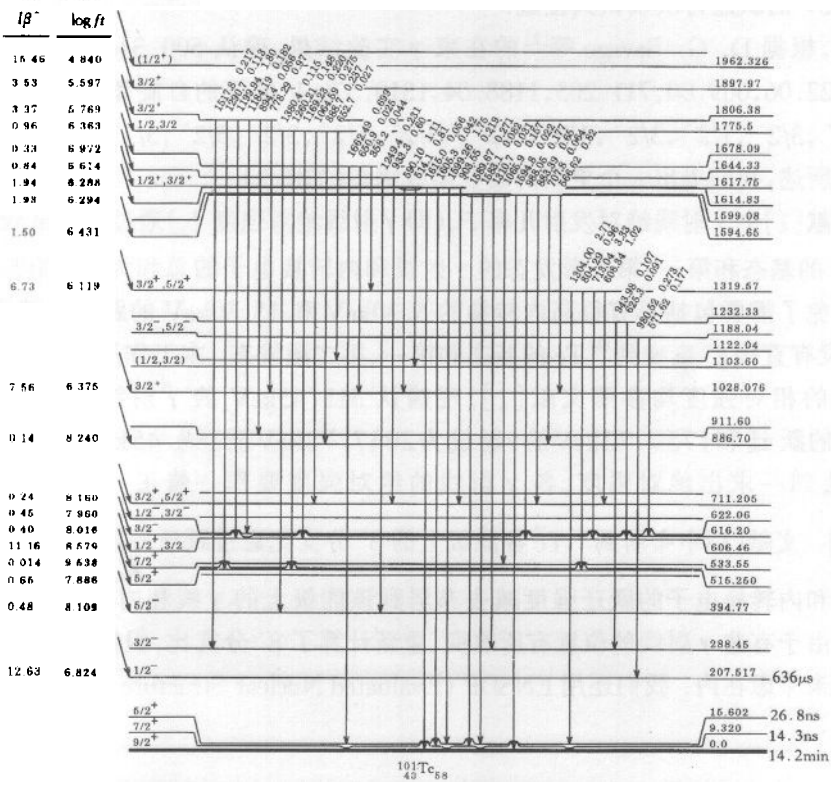
慢符合谱仪测量了 $^{101}\text{Mo}$ 的衰变 $\gamma$ 符合谱,用两个 HpGe 探测器的快信号分别做时幅转换器(TAC)的起始和终止信号,TAC生成一幅度数字转换器(ADC)的门信号,在门信号开启的时间内,多参数系统记录由两个能量信号和一个时间信号构成符合事件.两个高纯锗探测器分别是效率为50%的同轴型 HpGe 和20%的N型(带铍窗)的 HpGe 探测器,其能量分辨率分别为2.0keV,1.9keV(对 $^{60}\text{Co}$ 的1.33MeV的 $\gamma$ 射线).两个探测器被面对面地放置,实验数据获取采用事件谱方式,共记录了 $1 \times 10^7$ 个符合事件.图1显示分别以211.98keV,(590.10+590.91)keV的 $\gamma$ 射线开门得到的符合 $\gamma$ 谱.表1仅列出区别于原有 $^{101}\text{Mo}$ 衰变 $\gamma$ 数据的 $\gamma$ - $\gamma$ 符合关系<sup>[4]</sup>.本实验的目的是判别级联关系,对能量和强度不作精确测量,故其能量和相对强度都引用原来数据,但能量为1508.01keV的新 $\gamma$ 射线,其能量由本实验测定,由于在单谱中未观测到此线,该微弱 $\gamma$ 射线的强度未给出.本



$1/2^+$  0.0  
 $^{101}_{42}\text{Mo}_{59}$  14.61 min  
 $Q^- = 2824^{24} \% \beta^- = 100$



$1/2^+$  0.0  
 $^{101}_{42}\text{Mo}_{59}$  14.61 min  
 $Q^- = 2824^{24} \% \beta^- = 100$



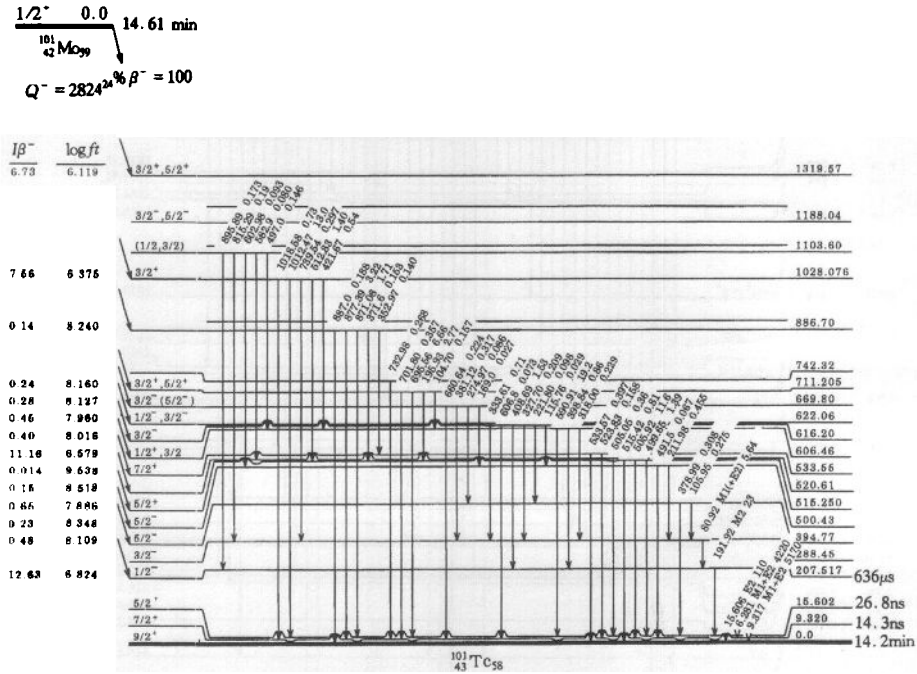


图2 本工作建议的<sup>101</sup>Mo衰变纲图(续)

实验对能量为 221.80, 318.00, 377.90, 452.50, 515.42, 1011.05 和 1759.72keV 的  $\gamma$  射线重新确定了其跃迁位置, 首次对 104.70, 105.95, 774.15, 1508.01keV  $\gamma$  射线确定了跃迁位置, 其中 1508.01keV 的  $\gamma$  射线为首次观测到, 对 169.00, 590.91, 980.52, 1431.68keV 的跃迁再次确认其位置.

另外, 根据 D. G. Savage 等<sup>[2]</sup> 的在束  $\gamma$  实验结果, 确认 500.34, 515.250, 533.55, 616.20, 622.06, 669.80, 711.205, 1188.04, 1319.57keV 能级的自旋和宇称分别为  $5/2^-$ ,  $5/2^+$ ,  $7/2^+$ ,  $3/2^-$ ,  $1/2^-$ ,  $3/2^-$ ,  $3/2^- (5/2^-)$ ,  $3/2^+$ ,  $5/2^+$ ,  $3/2^-$ ,  $5/2^-$ ,  $3/2^+$ ,  $5/2^+$ .

综上所述, 我们提出一个更新的衰变能级纲图(如图2).

在文献[1]中  $\gamma$  射线绝对发射几率  $P_\gamma$  (即  $\gamma$  射线绝对强度  $I_\gamma$ ) 通过所有从较高能级退激到<sup>101</sup>Tc 的基态和第一、第二激发态的  $\gamma$  射线和内转换电子的总和为 1(100%) 计算, 这种方法避免了需要包括具有很高内转换的 6.30keV 和 15.60keV 的跃迁的情况, 这里假定<sup>101</sup>Mo 没有直接  $\beta^-$  衰变到<sup>101</sup>Tc 的基态和第一、第二激发态. 本工作所提出的纲图中, 所有  $\gamma$  射线的相对强度均参照文献[1], 现确认 515.45keV 的  $\gamma$  射线为 515.05keV 至 0.00keV 的跃迁和 1759.72keV 的  $\gamma$  射线为 2047.72keV 至 288.45keV 的跃迁, 按文献[1]的方法归一求出绝对强度, 各  $\gamma$  射线的绝对强度要作一修正, 其因子为  $1.00826 \left( \frac{100}{99.181} \right)$ . 文献[1]中布居到<sup>101</sup>Tc 各能级上的  $\beta^-$  分支比通过跃迁亏损(即从该能级上退激的  $\gamma$  线和内转换电子的跃迁强度减去布居到该能级上的  $\gamma$  线和内转换电子的跃迁强度)得到, 由于有些  $\gamma$  射线的位置有所改变, 重新计算了  $\beta^-$  分支比, 但能量为 1508.01keV 的  $\gamma$  射线未考虑在内. 我们还用 ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) 的分析校

验程序算出了<sup>101</sup>Mo衰变到<sup>101</sup>Tc各能级的 $\log ft$ 值. 结果见纲图(图2).

作者感谢中国科学院上海原子核所回旋加速器运行组和其他有关人员的支持和幫助.

### 参考文献(References)

- 1 Hammed M A, Mac Mahon T D, Naboulsi A H. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. , 1993, **A334**:485
- 2 Savage D G, Aslan Hurol, Crowe Ben et al. Phys. Rev. , 1997, **C55**:120
- 3 DING BenHou, WANG NaiYan. Neutron Source Phys. (in Chinese). Beijing: Science Press, 1984. 143  
(丁本厚,王乃彦. 中子源物理. 北京:原子能出版社,1984. 143)
- 4 Jean Blachot. Nuclear Data Sheets, 1998, **83**(1):54—62
- 5 Wright J F, Talbert W L. Jr. Phys. Rev. , 1975, **C12**:572

## Study of <sup>101</sup>Mo Decay \*

SHEN ShuiFa LI Yan SHI ShuangHui GU JiaHui  
LIU JingYi FANG KeMing ZHOU JianZhong

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

**Abstract** The decay of <sup>101</sup>Mo to levels in <sup>101</sup>Tc has been studied using the three-parameter ( $\gamma$ - $\gamma$ - $t$ ) coincidence system of HpGe-HpGe detectors. From the coincidence data, the new decay scheme was constructed. The previously reported 104.70, 105.95 and 774.15 keV  $\gamma$  rays were observed, and have been assigned to the decay scheme for the first time. A newly observed 1508.01 keV  $\gamma$  ray has also been assigned to the scheme for the first time. The intensities of  $\beta^-$  and the values of  $\log ft$  to most levels were calculated.

**Key words** decay, gamma ray, level, coincidence

---

Received 3 February 1999

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