

Ag^{110m} 的衰变纲图*

何 宪

(原子能研究所)

提 要

利用 γ 闪烁谱仪和 γ - γ 符合谱仪,我们对 Ag^{110m} 衰变的 γ 射线进行了研究;提出了一个修正的衰变纲图,认为 Cd^{110} 有656keV, 1473keV, 1540keV, 2160keV, 2219keV, 2476keV和2924keV七个激发能级,包含有能量为448, 620, 656, 679, 705, 741, 764, 817, 884, 936, 1384, 1473, 1504和1560keV的14条 γ 射线. 用符合方法,我们除了证实一般公认为有级联关系的 γ 射线之间有符合之外,还确定了1560keV γ 射线在衰变图中的位置,证实了764keV γ 射线应该放在1504keV γ 射线的前面,并且指出,817keV γ 射线是属于1473keV能级到656keV能级间的跃迁的. 此外,还观察到1820keV和2268keV两个峰;经过用吸收方法分析,指出它们是由于低能量的 γ 射线“堆积”起来的迭加峰.

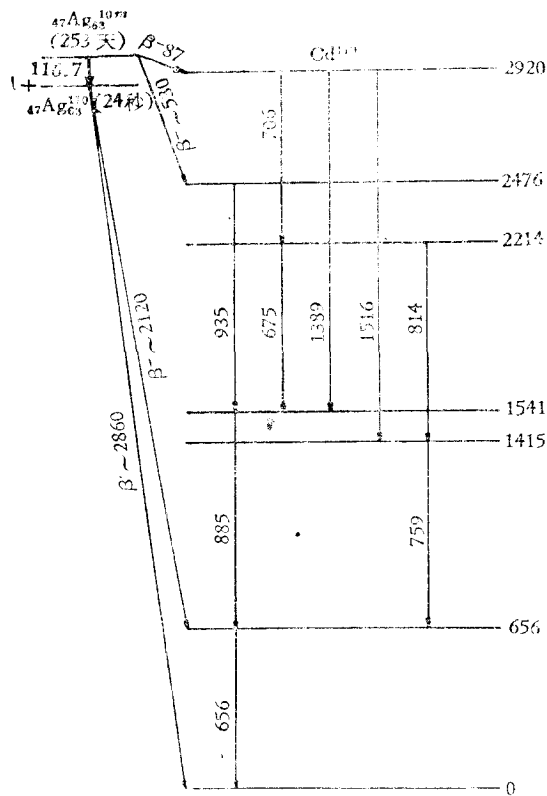
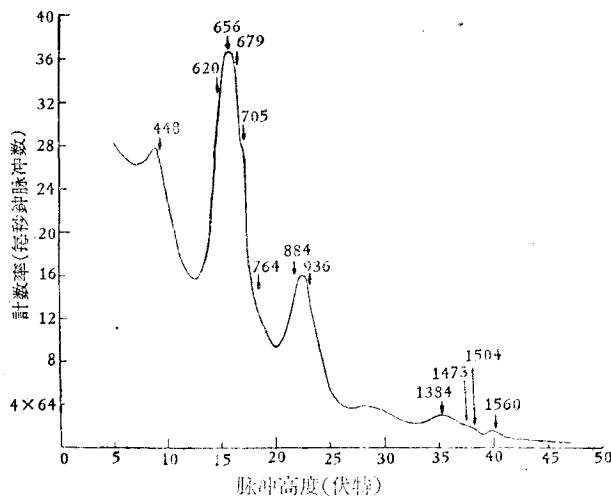
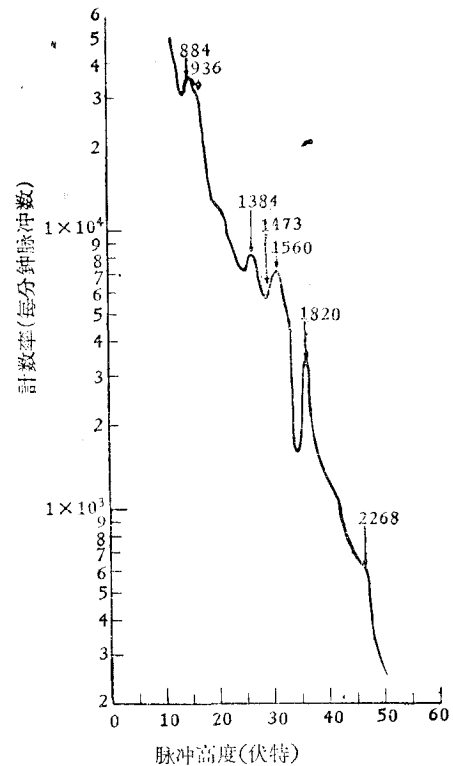
1. 引 言

半寿期为253天的 Ag^{110m} 的衰变已被许多人研究过,现在为大家所接受的衰变图是由Siegbahn^[1]第一次提出的(见图1). 在这个基础上,后来有许多工作者用 β 谱仪,闪烁谱仪,符合技术和角关联方法,对 Ag^{110m} 的 β 射线和 γ 射线作了进一步的研究,把Siegbahn的衰变图作了一些修正. 特别要提到:在Джелепов^[2]等人的工作中,发现有一条能量约为1563keV的高能 γ 射线. 在Stelson^[3]等人的工作中,用库仑激发方法得出 Cd^{110} 的一个能量约为1473keV的激发能级. 在Ewbank^[4]等人的工作中,用原子束磁共振方法测定了 Ag^{110m} 亚稳态的自旋和宇称是 $6+$, Ag^{110} 基态的自旋和宇称是 $1+$. Mitsuo^[5]等人根据这一结果和他们作的角关联实验,确定了 Ag^{110m} 衰变所放出的 γ 射线的多极性和 Cd^{110} 的各激发能级的自旋和宇称. 最近, Funk^[6]等人根据前人的一些研究结果和他们的工作结果提出了一个修正的 Ag^{110m} 的衰变图. 在他们的衰变图中, Cd^{110} 的2219keV和1541keV两能级之间增添了一个2161keV能级. 他们用 180° 永久磁铁谱仪观察到一条能量约为764keV的 γ 射线,它是由2924keV能级跃迁到2161keV能级时发射出来的;1504keV γ 射线,它是属于2161keV能级到657keV能级的跃迁. 此外,1415keV能级的能量被提高到1473keV. 他们指出:他们所提出的 Cd^{110} 的能级图是和 Cd^{110} 附近的中間质量的偶偶核的同位素的能级分布规律相一致的. 现在我们对 Ag^{110m} 衰变测量所得的结果基本上支持Funk等人所提出的这一修正后的 Ag^{110m} 衰变图.

2. 对 γ 单一能谱的测量和解释

我们对 Ag^{110m} 衰变的 γ 能谱的测量是利用 $\Phi 3V-19M$ 光电倍增管和一块1寸 $\times$ 1寸

* 1959年12月16日收到.

图1 Siegbahn 提出的 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变图, 能量单位用 keV图2(a) $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的闪烁单能谱(低能部分), 能量单位用 keV图2(b) $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的闪烁单能谱(高能部分), 能量单位用 keV

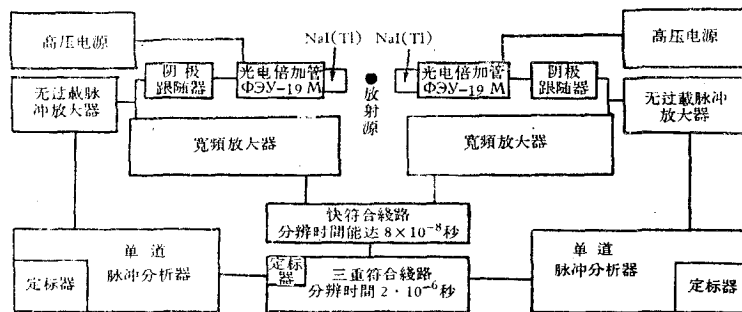
圆柱形 NaI(Tl) 晶体所组成的 γ 闪烁谱仪进行的。由探头引出的脉冲经过无过载脉冲放大器适当放大后, 输送到单道脉冲分析器进行脉冲高度分析。对同位素 Cs^{137} 的 662 keV 单能峰而言, 谱仪的分辨率是 10%。由分析器得出的全部 γ 射线的脉冲高度谱画在图 2(a), 2(b) 中; 经过闪烁谱仪能量直线性校正后, 将所有能观察到的 γ 射线的能量值确定了, 并用箭头在图中标出。

测量的结果在 高能部分显示有能量为 1560, 1820 和 2268 keV 的三个全能峰。1560 keV γ 射线曾被 Д. Желепов 等人用磁谱仪观察到过。1820 keV 和 2268 keV 峰以前没有被人观察到, 而这是第一次被观察到了。从同一核衰变放出的时间相隔很小(小于晶体发光时间)的两条相级联的低能的 γ 射线, 在闪烁体中

有可能“堆积”起来而以这两条 γ 射线能量的总和的脉冲高度呈现在脉冲高度谱中。1820 keV 和 2268 keV 两个峰也可能是低能 γ 射线“堆积”的结果，而不真正是 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变中的高能量的 γ 射线。为了证明这点，我们用铅吸收方法对 1820 keV 和 2268 keV 两个峰进行吸收测量。实验结果指出：1820 keV 峰是按 ~ 800 keV 能量 γ 射线的吸收系数被吸收的，2268 keV 峰是按 ~ 1 MeV 能量 γ 射线的吸收系数被吸收的。因此，我们推测 1820 keV 峰是 884 keV 和 936 keV γ 射线“堆积”起来的迭加峰，2268 keV 峰是 884 keV 和 1384 keV γ 射线“堆积”起来的迭加峰，后面用符合实验方法也证实了这个推断。再者，在图上，448 keV 的全能峰由于 656 keV γ 射线的康普顿成分的边沿在 448 keV 附近的出现而变宽了。

3. γ - γ 符合实验和解释

在上节对 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变的 γ 单一能谱测量的基础上，我们对 γ 射线的级联关系进行了一系列的符合实验。符合谱仪的两道探测头各是一块 1 寸 $\times$ 1 寸圆柱形的 NaI(Tl) 晶体放在光电倍增管 $\Phi\text{ЭВ-19M}$ 上。负脉冲从探测头的阴极跟随器引出来后分为两路，一路输入到上升时间为 0.3 微秒的无过载脉冲放大器，经过放大后的脉冲，引入到单道脉冲分析器，将不同高度的脉冲进行挑选。经过挑选的脉冲再输入到三重符合器的第一“门道”。从同一阴极跟随器引出来的脉冲的另一路输送到宽频放大器，经过适当放大后的脉冲再输入到快符合线路（分辨时间为 8×10^{-8} 秒）的一边。同样，由另一个探测头的阴极跟随器引出来的脉冲分为两路，一路输送到放大器，再经过分析器的挑选，把一定幅度的脉冲输送到三重符合器的第二“门道”。另一路经过宽频放大器，送到快符合线路的另一边。由快符合线路输出的负脉冲输送到三重符合线路的第三“门道”，最后三重符合线路输出的脉冲数由定标器记录下来（参阅下面的方块图）。



γ - γ 符合谱仪的方块图

对比 Funk^[6] 等人提出的 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变图与 Джеленов^[7] 等人提出的衰变图，发现两者主要不同的地方是 1504 keV γ 射线和 764 keV γ 射线的先后次序不同。Funk 等人认为 764 keV γ 射线在 1504 keV γ 射线的前面，Джеленов 认为 762 keV γ 射线在 1504 keV γ 射线的后面。依照 Funk 的衰变图 764 keV, 620 keV 和 884 keV 是三级级联的 γ 射线，但是在 Джеленов 的衰变图中就没有这种级联关系。我们用符合测量肯定了 764 keV γ 射线和 1504 keV γ 射线的先后次序，认为 Funk 的纲图是正确的。

我们把一道分析器分别固定在三个区域：A(820—880 keV)，B(750—820 keV)，C(700

—780 keV) 上, 另一道分析器在 500—980 keV 区域中作符合扫描。500—980 keV 区域中的单谱分布, 将计数率尺度适当缩小后, 用虚线划在图 3(a) 中, 以作参考。A, B, C 三个固定区域用括号表示在图 3(b) 的插图中。

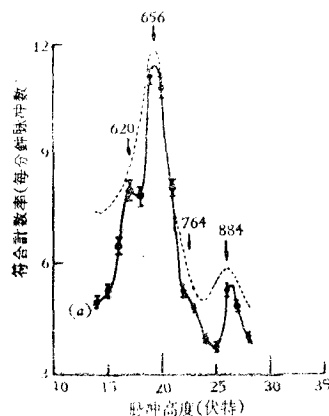


图 3(a) $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的符合谱
虚线表示: 500—980 keV 区域内的单一能谱;
曲线(a)表示: 固定区域 A (820—880 keV) 内的符合能谱
能量单位用 keV

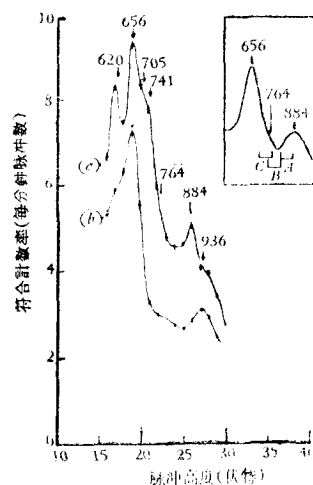


图 3(b) $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的符合谱
曲线(b)表示: 固定区域 B (750—820 keV) 内的符合能谱;
曲线(c)表示: 固定区域 C (700—780 keV) 内的符合能谱
能量单位用 keV

图 3(a), 3(b) 中的曲线 (a), (b), (c) 就是在固定区域 A, B, C 中的 γ 射线与 500—980 keV 区域中的 γ 射线的符合能谱。对比曲线 (a) 和 (c), 发现在曲线 (a) 上, 884 keV 附近出现的峰偏向 936 keV 峰的低能边; 在 764 keV 位置上出现符合峰。在曲线 (c) 上, 发现在 884 keV 位置上有符合峰而在 764 keV 位置上没有看见符合峰。这就说明: 884 keV γ 射线和 764 keV γ 射线有级联关系。在曲线 (a) 上, 884 keV 附近出现的峰偏向 936 keV 的低能边是由于 884 keV 与 936 keV 符合的缘故。再者, 我们注意到, 在 (a), (b), (c) 三条曲线上, 620 keV 全能峰都是存在的, 这指出在固定区域 A 中所接受的 884 keV γ 射线和在固定区域 B 和 C 中所接受的 764 keV γ 射线都能与 620 keV γ 射线符合。因此, 我们看出, 764 keV, 620 keV 和 884 keV 三条 γ 射线有三级级联关系, 这和 Funk 衰变图所指出的关系是一致的。曲线 (a), (b), (c) 在 656 keV 附近区域中峰的高度和宽度是不相同的, 这是因为在固定区域 A 中主要包含有相对强度较大的 884 keV γ 射线 (相对强度约为 75%)^[1], 曲线 (a) 在 656 keV 峰的高能边的加宽是由于 884 keV γ 射线与强度弱的 679 keV γ 射线的符合。在固定区域 B 中, 主要包含有相对强度较弱的 817 keV (约为 $9 \pm 1\%$)^[2], 764 keV γ 射线和小部分的 884 keV γ 射线的康普顿成分。曲线 (b) 在 656 keV 峰的高能边分布的高度和宽度都没有曲线 (a) 在 656 keV 区域中高和宽, 这是因为 817 keV γ 射线和 679 keV γ 射线没有符合的缘故。在 764 keV 和 936 keV 位置上出现的符合计数是由于小部分的 884 keV γ 射线的康普顿成分在固定区域 B 中出现所引起的。曲线 (c) 在 705—741 keV 区域和 620 keV, 656 keV 和 884 keV 位置上有明显的峰出现, 这是因为在固定区域 C 中包含有

705 keV γ 射线和 741 keV γ 射线,但 705 keV γ 射线和 741 keV γ 射线是有级联关系的,所以 705 keV 和 741 keV 位置上应该出现符合峰. 在固定区域 C 中,主要还包含有较强的 764 keV γ 射线,因此在 620 keV, 884 keV, 656 keV 位置上都出现明显的符合峰. 以上这些关系都能用 Funk 所提出的衰变图来解释,因此,我们认为把 764 keV γ 射线放在 1504 keV γ 射线的前面的结论是正确的.

为了确定在前面一节单一能谱测量中所观察到的 1560 keV γ 射线在衰变图中的位置与 1820 keV 和 2268 keV 峰的性质,我们作了一些符合实验. 把一道分析器分别固定在三个区域: D (1270—1450 keV), E (1520—1710 keV), F (1780 keV 以上) 上,另一道分析器在 500—1000 keV 区域中作符合扫描. 500—1000 keV 区域中的单谱分布,将计数率尺度适当缩小后,用虚线划在图 4(a) 中,以作参考. D , E , F 三个固定区域用括号表示在图 4(b) 中. 图 4(a), 4(b) 中的曲线 (d), (e), (f) 就是在固定区域 D , E , F 中的 γ 射线与 500—1000 keV 区域中的 γ 射线的符合能谱.

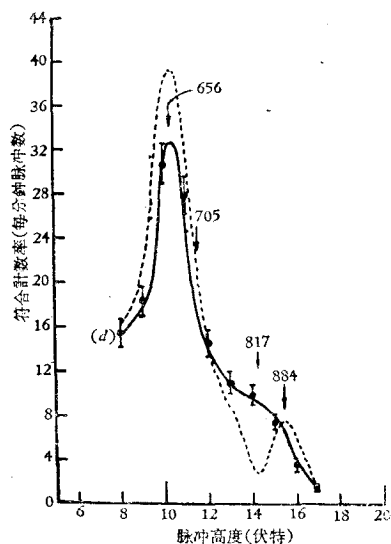


图 4(a) $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的符合能谱
虚线表示: 500—1000 keV 区域内的单一能谱;
曲线 (d) 表示: 在固定区域 D (1270—1450 keV) 内的符合能谱
能量单位用 keV

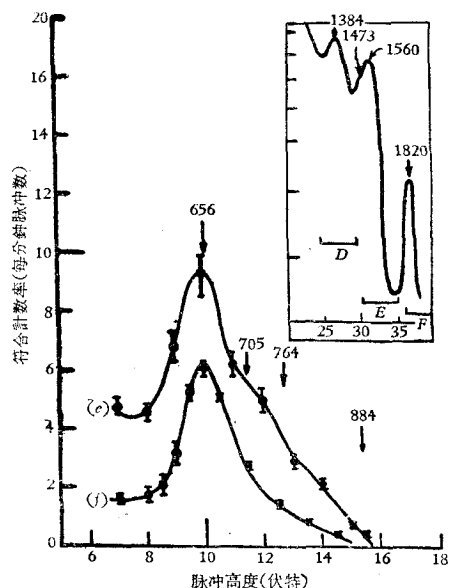


图 4(b) $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的符合能谱
曲线 (e) 表示: 在固定区域 E (1520—1710 keV) 内的符合能谱;
曲线 (f) 表示: 在固定区域 F (1780 keV 以上) 内的符合能谱
能量单位用 keV

首先,我们看到,在图 4(a), 4(b) 中, (d), (e), (f) 三条曲线在 884 keV 位置上的符合峰的高度和宽度是不相同的. 曲线 (d) 在 884 keV 峰附近有较大的符合计数,但曲线 (e), (f) 在 884 keV 峰附近几乎是平滑下去,这是值得注意的. 在固定区域 D 中,主要是包含有 1384 keV γ 射线和小部分的 1473 keV 的 γ 射线. 参考衰变图 (图 6), 1384 keV 和 884 keV γ 射线是应该有符合的,因此,在曲线 (d) 上有符合峰出现. 在固定区域 E (1520—1710 keV) 中,主要包含有 1560 keV 和小部分 1504 keV γ 射线,曲线 (e) 在 884 keV 位置上没有符

合峰出现, 这指出 1560 keV 和 1504 keV γ 射线与 884 keV γ 射线没有级联关系。在 705 keV 和 656 keV 位置上的符合峰的出现说明 1560 keV γ 射线应该与 705 keV 和 656 keV γ 射线有级联关系。在固定区域 F (1780 keV 以上) 中主要包含有上节曾经提到的 1820 keV 和 2268 keV 峰。假若把 1820 keV 和 2268 keV 峰解释为低能 γ 射线“堆积”起来的迭加峰, 那么 1820 (884+936) keV 和 2268 (1384+884) keV 总线应该与 656 keV γ 射线有符合。这样就解释了曲线 (f) 在 656 keV 位置上符合峰的出现。这和以前用吸收方法确定 1820 keV 和 2268 keV 峰是低能 γ 射线的迭加峰的解释是相一致的。

再者, 我们注意到: (d) , (e) , (f) 三条符合曲线在 656 keV 位置上出现的符合峰的高度和宽度是不相同的。曲线 (e) 在 705 keV 位置上下降较慢, 这是由于 1560 keV γ 射线不仅与 656 keV γ 射线有符合, 而且与 705 keV γ 射线有符合, 因此 1560 keV γ 射线与 705 keV 和 656 keV γ 射线是级联的。Джелепов^[2,7] 曾经建议把 1560 keV γ 射线放在 705 keV γ 射线的后面, 705 keV, 1560 keV 656 keV 三条 γ 射线是三级级联的, 但是在 Funk^[6] 的工作中没有提到这点。我们认为, Джелепов 的建议和我们的实验结果是相一致的, 因此我们将 Funk 提出的衰变图作了修正。

我们利用符合谱仪只记录符合能谱的特性, 对于强度较弱的 γ 射线进行了分析。把一道分析器选择在 620—670 keV 区域中, 另一道分析器选择在 550—980 keV 区域中进行符合扫描。符合曲线用实线画在图 5 中, 550—980 keV 区域中能谱分布, 将计数率尺度适当缩小后用虚线画在图 5 中, 以作参考。符合曲线在 705 keV, 764 keV, 817 keV, 884 keV 和 936 keV 位置上有符合峰出现。从 Джелепов^[2] 等人对 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变的 γ 射线的相对强度测量的结果看来, 817 keV ($9 \pm 1\%$) 和 679 keV ($13 \pm 2\%$) γ 射线都是强度比较弱的射线。从符合曲线上可以看出: 817 keV γ 射线是存在的, 而且与 656 keV γ 射线有符合。同时, 符合峰在 656 keV 位置的出现和峰在 高能边上的加宽是由于在固定区域中不可避免的出现一小部分的 679 keV γ 射线与 656 keV γ 射线的符合和 656 keV γ 射线与扫描区域中 679 keV γ 射线的符合的结果。我们又看到: 817 keV 和 656 keV 的能量之和与 Stelson^[3] 等人用库仑激发方法确定的 1473 keV 的 γ 射线的能量值是相等的。这样, 我们在提出的衰变图中, 把 817 keV γ 射线放在 1473 keV 能级和 656 keV 能级之间。

根据以上所述的对 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变的 γ 射线的符合关系的测量, 我们可以简要地将 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变的 γ 射线间的关系总结在表 1 中。

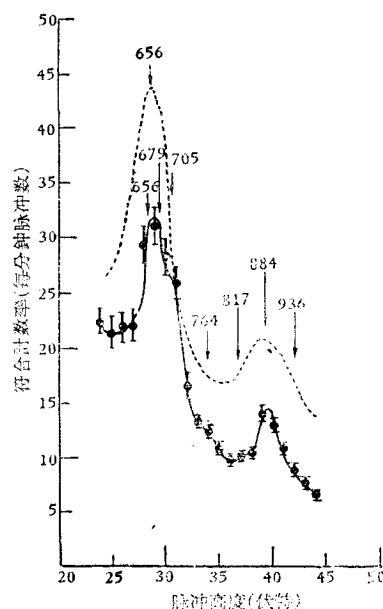


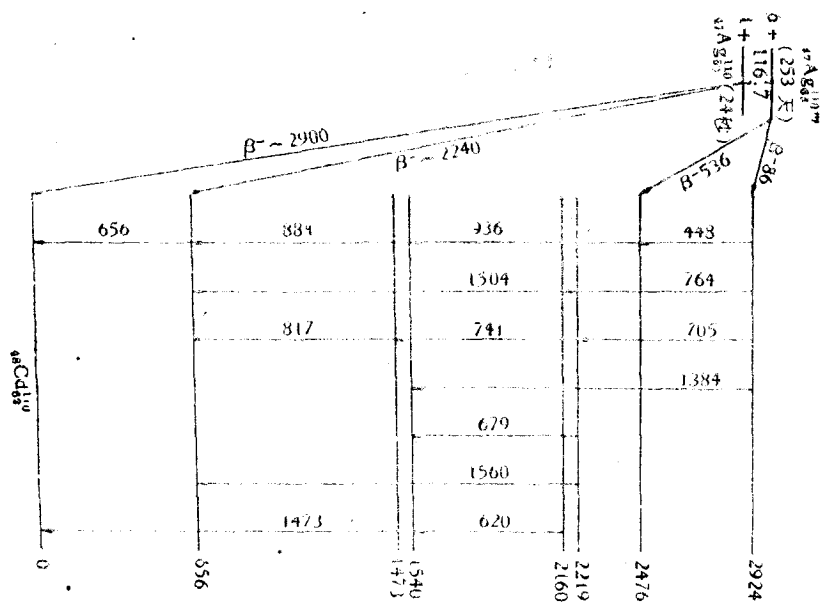
图 5 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 的 γ 射线的符合能谱
虚线表示: 550—980 keV 区域内的单一能谱;
实线表示: 在固定区域 620—670 keV 内的符合能谱
能量单位用 keV

表 1

γ 射线 能量 (kev)	与它符合的其他 γ 射线 能量(kev)
620	764, 884
656	679, 705, 741, 764, 817, 884, 936, 1384, 1504, 1560, 1820(884+936), 2268(1384+884)
705	656, 741, 817, 1473, 1560
741	656, 705, 1473
764	620, 656, 884, 1504, 2160(1504+656)
817	656, 705, 1441(705+741)
884	620, 656, 764, 936, 1384
1384	656, 884
1473	705, 741
1560	656, 705
1820 (884+936)	656
2268 (1384+884)	656

4. 结 语

在对 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变的 γ 射线测量的基础上, 我们提出了一个修正的 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变图, 表示在图 6 中. 这一衰变图对以前 Siegbahn 所提出的衰变图作了一些必要的修正, 而与 Funk 等人所提出的衰变图只是稍有不同. 在我们的工作中, 除用符合实验方法证实了前人

图 6 修正后的 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变图, 能量单位用 kev

公認有級联关系的 γ 射綫之間确有符合之外,更确定了 Джеленов 等人所提出的 1560 keV γ 射綫在衰变图中的位置,証实了 Funk 等人所提出的 764 keV γ 射綫应该放在 1504 keV γ 射綫的前面;还观察到两条由于低能量的 γ 射綫“堆积”起来的迭加峯 (1820 keV 和 2268 keV), 并且进行了分析. 对强度較弱的 817 keV γ 射綫在衰变图中的位置也作了确定. 认为把 817 keV γ 射綫放在 1473 keV 能級和 656 keV 能級之間, 而不同意 Джеленов 等人把 817 keV γ 射綫放在 2220 keV 能級和 1418 keV 能級之間.

在我們的工作將結束时,看到了 Taylor 等人对 $\text{Ag}^{110\text{m}}$ 衰变研究的論文^[8], 发现我們的工作結果和他們的結果是相一致的.

最后我們对梅鎮岳先生和郑体生先生对这一工作的指导致以感谢.

参 考 文 献

- [1] Siegbahn, K., *Phys. Rev.* **77** (1950), 233.
- [2] Джеленов, В., Жуковский, Н. и Кондаков, Ю., *Изв. АН СССР с сер. физич.*, **21** (1957), 973.
- [3] Stelson, P. H. and McGowan, F. K., *Phys. Rev.* **110** (1958), 489.
- [4] Ewbank, Nierenberg, Shugart, and Silsbee, *Phys. Rev.* **110** (1958), 595.
- [5] Mitsuo, Sakai, *J. Phys. Soc. Japan*, **14** (1959), 229.
- [6] Funk, E. G. and Wiedenbeck, M. L., *Phys. Rev.* **112** (1958), 1247.
- [7] Джеленов, В., Некер, Л., *Схемы Распада Радиоактивных Ядер*, стр. 295 (Москва, 1958, Ленинград).
- [8] Taylor, H. W. and Scott, S. A., *Phys. Rev.* **114** (1959), 121.

DECAY SCHEME OF $\text{Ag}^{110\text{m}}$

HO SHEN

(Research Institute of Atomic Energy)

ABSTRACT

The gamma-rays, emitted in the decay of $\text{Ag}^{110\text{m}}$, have been studied by use of gamma-spectrometer and gamma-gamma coincidence techniques. Fourteen gamma-rays have been found with energies of 448, 620, 656, 679, 705, 741, 764, 817, 884, 936, 1384, 1473, 1504 and 1560 keV. All these gamma-rays can be fitted into seven excited levels in Cd^{110} of energies 656 keV, 1473 keV, 1540 keV, 2160 keV, 2219 keV, 2476 keV and 2924 keV respectively. The generally accepted cascade relationship between gamma-rays has been verified. Furthermore, coincidence measurements have pointed out that the 1560 keV gamma-ray is emitted during the transition between 2219 keV level and 656 keV level, that the 817 keV gamma-ray belongs to transition between 1473 keV level and 656 keV level, and that the 764 keV gamma-ray should proceed the 1504 keV gamma-ray. A modified decay scheme has been proposed.