

文章编号: 1007-4627(2016)04-0518-06

^{173}Lu 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 衰变数据的测量

师全林, 白涛, 刘杰, 商建波, 张小林, 代义华

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要: $^{175}\text{Lu}(n, 2n)^{174\text{m,g}}\text{Lu}(n, 2n)^{173}\text{Lu}$ 反应在高中子通量监测中具有重要作用, 其产物的放射性活度通常用HPGe探测器测量, 这就需要 $^{174\text{m,g}}\text{Lu}$ 和 ^{173}Lu 的半衰期和 γ 射线发射率等衰变数据必须准确无误。在主要的评价核数据库中, 只有ENDF/B 7.1和JEFF 3.1.1数据库给出了 ^{173}Lu 和 ^{174}Lu 的半衰期和 γ 射线的发射几率等衰变数据, 其中 ^{173}Lu 的 γ 射线发射几率ENDF/B 7.1库比JEFF 3.1.1库总体偏高, 其他评价数据两个数据库非常一致。在中国原子能研究院的串列加速器上用 20 MeV 质子辐照金属 Yb 靶生产了含有 ^{173}Lu , $^{174\text{m,g}}\text{Lu}$ 的放射性溶液, 用激光共振电离质谱(LRIMS)和热表面电离质谱(TIMMS)两种同位素稀释法测定了该溶液中 ^{173}Lu 和 $^{174\text{m,g}}\text{Lu}$ 核素浓度, 然后制备测量源在HPGe探测器上进行了近7年的跟踪测量, 发现 ^{173}Lu 的半衰期为 1.45 a, 比目前评价的数据 1.37 a 高 6.1%, 636.1 keV γ 射线发射几率的偏差最大, 比ENDF/B 7.1的评价数据偏高7%。 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 半衰期的测量结果 3.37 a, 比评价数据 3.31 a 高约 1.8%, $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 76.5 keV 和 1241.8 keV γ 射线的发射几率比ENDF/B 7.1的评价数据分别低 1.87% 和 12.8%。

关键词: ^{173}Lu ; ^{174}Lu ; 半衰期; γ 射线发射几率; HPGe

中图分类号: O571.32 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.33.04.518

1 引言

镥有两种天然同位素, 分别是 ^{175}Lu (97.41%) 和 ^{176}Lu (2.59%)。 $^{175}\text{Lu}(n, 2n)^{174\text{m,g}}\text{Lu}(n, 2n)^{173}\text{Lu}$ 反应的阈值分别为 7.9, 7.7 和 6.8 MeV, 产物的半衰期适中, 分别为 142 d, 3.31 a 和 1.37 a, 均发射 γ 射线, 可方便地用HPGe探测器来测量分析, 因此, ^{175}Lu 在复杂中子场高中子通量的监测中具有重要应用。准确测定 ^{173}Lu , $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的衰变数据在 ^{175}Lu 中子反应截面测量和中子通量监测等应用中均有重要意义。

^{173}Lu 100% 以轨道电子俘获(EC)方式衰变到 ^{173}Yb 。 $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 以EC和 β^+ 方式衰变到稳定的 ^{174}Yb 的分支比为0.62%, 以内转换(IT)方式衰变到 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的分支比为99.38%, $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 以EC和 β^+ 方式衰变到 ^{174}Yb 。在主要的评价核数据库中, 只有ENDF/B 7.1和JEFF 3.1.1数据库给出了 ^{173}Lu , $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的衰变数据(见表1)^[1], 其中这3个同位素的半衰期、 $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的 γ 射线发射几率两个数据库非常一致, 而 ^{173}Lu 的 γ 射线发射几率ENDF/B 7.1库比JEFF 3.1.1库总体偏高, 有必要

对这些衰变数据进行准确的实验测量。

应用中得到的放射性镥样品, 一般都含有 ^{173}Lu , $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 等放射性同位素, 难以通过放化分离得到同位素纯的放射性溶液。同时, 这些放射性核素大多以轨道电子俘获方式进行衰变, 用绝对测量方法确定活度的难度较大。因此, 在不利用 γ 射线发射几率等核参数的条件下测定放射性镥同位素的活度是比较困难的。为此, 研究了高元素选择性的激光共振电离质谱(LRIMS)同位素稀释法测定 ^{173}Lu 和 ^{174}Lu 核素含量的方法^[2-3], 在中国原子能研究院串列加速器上用 20 MeV 的质子辐照金属 Yb 靶得到含 ^{173}Lu , $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的放射性样品(总活度约 2×10^7 Bq), 用LRIMS同位素稀释法(稀释剂为 ^{176}Lu)定量^[4]出 ^{173}Lu 和 $^{174\text{m,g}}\text{Lu}$ 核素浓度分别为 $4.676 \times 10^{11}/\text{mg}$ 和 $1.092 \times 10^{11}/\text{mg}$, 合成相对标准不确定度分别为 1.2% 和 1.3%。该结果同时得到TIMMS同位素稀释法的验证^[5], 表明Yb对Lu的干扰可以忽略。用该溶液制备了4个放射性测量源, 在实验室用HPGe探测器进行了近7年的测量, 给出了 ^{173}Lu 和 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的半衰期和主要 γ 射线的发射几率等数据。

收稿日期: 2016-06-02; 修改日期: 2016-08-24

作者简介: 师全林(1971-), 男, 甘肃临洮人, 研究员, 博士, 从事核技术及应用研究; E-mail: Shiquanlin@nint.ac.cn.

表1 镱的主要 γ 射线及其发射几率

核素	半衰期	衰变方式	E_γ/keV	p_γ	
				ENDF/B 7.1	JEFF 3.1.1
^{173}Lu	1.37 a (1±0.7%)	EC (100%)	78.63	11.87%(1±3.60%)	11.16%(1±12.1%)
			100.724	5.24%(1±3.68%)	4.36%(1±12.2%)
			171.393	2.90%(1±4.92%)	2.81%(1±13.9%)
			179.365	1.38%(1±3.78%)	1.19%(1±12.0%)
			272.105	21.20%(1±3.63%)	18.00%(1±11.1%)
			636.11	1.45%(1±4.61%)	1.31%(1±14.7%)
$^{174\text{m}}\text{Lu}$	142 d (1±1.4%)	IT (99.38%)	44.683	12.43%(1±3.10%)	12.46%(1±2.25%)
			67.058	7.25%(1±2.99%)	7.27%(1±2.09%)
			76.468	0.06%(1±4.12%)	0.06%(1±3.96%)
		EC+ β^+ (0.62%)	176.653	0.47%(1±4.04%)	0.41%(1±6.69%)
			272.914	0.55%(1±4.46%)	0.51%(1±5.35%)
			992.077	0.55%(1±3.85%)	0.54%(1±2.07%)
$^{174\text{g}}\text{Lu}$	3.31 a (1±1.4%)	EC+ β^+ (100%)	1264.98	0.02%(1±8.27%)	0.02%(1±7.64%)
			76.468	5.93%(1±4.77%)	5.91%(1±4.85%)
			176.653	0.01%(1±5.01%)	0.01%(1±5.22%)
			1241.847	5.14%(1±2.53%)	5.14%(1±2.93%)

2 原理方法

镱的放射性溶液样品中含有 ^{173}Lu , $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 和 $^{174\text{m}}\text{Lu}$, 用质谱法测定了单位质量样品中 ^{173}Lu 和 ^{174}Lu 的核素数, 称重制备了4个HPGe γ 谱仪的测量源, 通过各放射性同位素特征 γ 射线的净峰面积的分析确定各核素的半衰期和主要 γ 射线的发射几率。

从表1的数据可以看出, $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 会对 ^{173}Lu 的 272.1 keV, $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的 76.5 keV 和 176.6 keV 射线的分析形成干扰。为此在样品中 $^{174\text{m}}\text{Lu}$ 基本衰变殆尽后进行了 γ 能谱测量和分析。若用质谱计测得样品中的 ^{173}Lu 或 ^{174}Lu 原子数为 N_0 (参考时间为 T_0), 则其活度 A_0 为

$$A_0 = \lambda \cdot N_0, \quad (1)$$

式中 λ 为 ^{173}Lu 或 ^{174}Lu 的衰变常数。若在某时刻 T 将该样品在HPGe探测器上测量, 得到某条特征 γ 射线的净峰面积为 S , 则存在如下关系:

$$A_0 \cdot p_\gamma \cdot \varepsilon = \frac{S}{t_L} \cdot \frac{\lambda \cdot t_R}{1 - e^{-\lambda \cdot t_R}} \cdot e^{\lambda \cdot t}, \quad (2)$$

式中 p_γ 为该条射线的发射几率; ε 为探测器对该射线的绝对探测效率; t_R 和 t_L 分别为测量的时钟时间和活时间; t 为开测时刻 T 和参考时刻 T_0 之间的“冷却时间”。该条 γ 射线的发射几率 p_γ 为

$$p_\gamma = \frac{S}{t_L \cdot \varepsilon} \cdot \frac{t_R}{1 - e^{-\lambda \cdot t_R}} \cdot \frac{e^{\lambda \cdot t}}{N_0}, \quad (3)$$

对上式进行变换并令 $y = \ln\left(\frac{S}{t_L \cdot p_\gamma \cdot \varepsilon} \cdot \frac{t_R}{1 - e^{-\lambda \cdot t_R}} \cdot \frac{1}{N_0}\right)$, 则

$$y = -\lambda \cdot t, \quad (4)$$

即将 y 与 t 做线性关联, 其斜率即为 $-\lambda$, 核素的半衰期 $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ 。尽管上式中含有待测参数 p_γ 和 λ , 但对于某一确定的射线, 其 p_γ 是确定的, 不影响对斜率的拟合, 而能谱的测量时间 t_R 一般远小于待测核素的半衰期, $1 - e^{-\lambda \cdot t_R} \approx 1$ 。

3 实验测量及数据处理

3.1 放射源的制备

放射源在HPGe探测器上测量时距其表面约25 cm以消除 γ 射线的符合相加效率。放射源为直径25 mm的滤纸源, 密封于有机玻璃制成的圆柱状源盒中。放射源制备时, 首先清洁有机玻璃源盒, 在盒子底部平铺上一层直径25 mm的滤纸并放在十万分之一天平上称量, 然后将放射性溶液小心地滴在源盒中滤纸的中央, 约50 mg左右, 记下放射性溶液的准确重量后从天平上拿下源盒, 阴干, 盖上有有机玻璃的源盒盖子并用氯仿密封, 制备出在HPGe探测器上测量的放射性源。放射性Lu同位素以及刻度探测器的 ^{60}Co , ^{152}Eu 、 ^{133}Ba 和 ^{241}Am 等放射源均按上述方法制备。

3.2 HPGe探测器的效率刻度

测量使用一个同轴P型HPGe探测器, 对 ^{60}Co 1332 keV γ 射线的能量分辨率为1.7 keV。探测器效率刻度时首先用 ^{152}Eu 和 ^{133}Ba 放射源分别刻度了探测器从122~1408 keV和53~384 keV之间的相对探测效率, 然后对 ^{152}Eu 刻度的244~1408 keV之间的相对效率用3次多项式进行拟合, 计算出 ^{60}Co 1173.2和1332.5 keV射线以及 ^{133}Ba 356 keV射线的相对效

率, 根据活度标准源 ^{60}Co 的活度计算出绝对效率, 将上述相对效率曲线转换为绝对效率曲线, 并和 ^{241}Am 放射源刻度的 59.54 keV 的绝对效率一起按下式拟合出 53~1408 keV 之间的绝对探测效率:

$$\ln \varepsilon = \sum_{n=1}^6 P_n \cdot (\ln E)^{2-n}, \quad (5)$$

式中 E 为 γ 射线的能量, 以 keV 为单位, ε 为探测器的绝对效率。拟合系数列于表 2, 绝对效率的曲线示意于图 1。在效率刻度中, 所有核素的半衰期和 γ 射线发射几率的数据均采用 ENDF/B V7.1 数据库的数据。拟合的多项式很好地描述了 P 型 HPGe 探测器在上述能量区间的探测效率, 各测点的实验值和拟合值的偏差在 1% 以内。

表 2 P 型探测器绝对效率的拟合系数

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
1.676	-61.18	606.9	-3313.3	9983.8	-13541

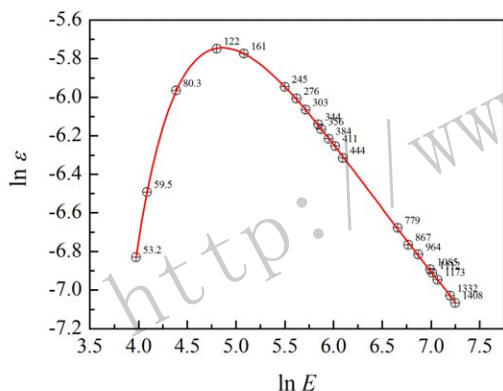


图 1 (在线彩图) P型探测器的绝对效率曲线

3.3 ^{173}Lu 的半衰期和 γ 射线发射几率

在 6.75 a 的时间内, 用上述 HPGe 探测器对 4 个 Lu 的放射性样品测量了 156 个能谱, 分析了 ^{173}Lu 特征 γ 射线的净峰面积, 按式(4)进行数据处理并标绘于图 2, 拟合的斜率列于表 3, 可见用不同射线的峰面积进行拟合时线性都非常好(线性相关系数 ≥ 0.9999), 各斜率也基本一致。 ^{173}Lu 的衰变常数取上述各斜率平均值的相

反数, 为 $1.511 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$, 即 ^{173}Lu 的半衰期为 1.45 a, 比目前评价的数据 1.37 a 高 6.1%。

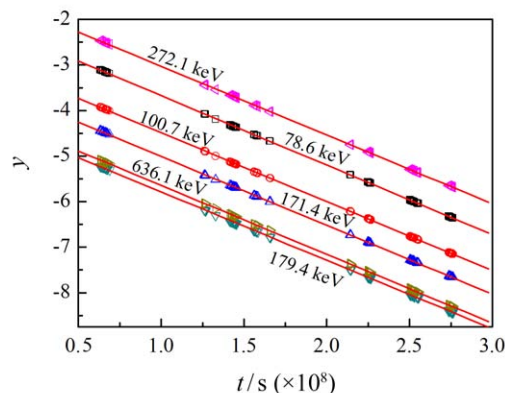


图 2 (在线彩图) ^{173}Lu 衰变常数的拟合图

表 3 ^{173}Lu 主要 γ 射线峰强度与冷却时间线性拟合的结果

E_γ/keV	截距 a	斜率 $b(\times 10^{-8})$	线性相关系数 R
78.6	-2.15	-1.515	-1
100.7	-2.97	-1.525	-1
171.4	-3.5	-1.519	-1
179.4	-4.28	-1.509	-0.9999
272.1	-1.52	-1.507	-1
636.1	-4.13	-1.506	-1
斜率平均值		-1.514	

采用新的衰变常数按照式(3)计算的 ^{173}Lu 主要 γ 射线的发射几率及其与 ENDF/B 7.1 库评价数据的比较见表 4, 可见主 γ 射线 272.1 keV 的发射几率为 20.66%, 比评价结果偏低 2.53%, 78.6 keV γ 射线的发射几率与评价结果基本一致, 但 636 keV γ 射线的发射几率为 1.55%, 比评价结果高约 7.1%, 其他射线的发射几率则整体偏小, 偏差在 5.4% ~ 3.4% 之间。应该说明, 若采用旧的衰变常数, 则测量的 γ 射线发射几率会比 ENDF/B 7.1 库的评价数据整体偏高 10% 以上, 且会显著增大测量数据的样本差, 这主要由式(3)中 $e^{\lambda t}$ 项的衰变常数 λ 不合理导致。这同时说明, 若测定了 ^{173}Lu 的原子数且在远小于半衰期时间内就测定各 γ 射线的强度, 则衰变常数对 γ 射线发射几率测量结果的影响不显著。但 636 keV γ 射线的发射几率偏高较大难以理解, 可能是当年标定的 636 keV 的探测效率较高所致。

表 4 ^{173}Lu 主要 γ 射线的发射几率

能量/keV	ENDF/B 7.1		本工作		与 B 7.1 的偏差/%
	发射几率/%	不确定度/%	发射几率/%	样本差/%	
78.6	11.87	3.60	11.81	1.12	-0.53
100.7	5.24	3.68	4.96	2.34	-5.40
171.4	2.90	4.92	2.80	0.54	-3.40

续表 4

能量/keV	ENDF/B 7.1		本工作		与 B 7.1 的偏差/%
	发射几率/%	不确定度/%	发射几率/%	样本差/%	
179.4	1.38	3.78	1.32	1.25	-4.62
272.1	21.20	3.63	20.66	0.64	-2.53
636.1	1.45	4.61	1.55	1.19	7.06

3.4 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的半衰期和 γ 射线发射几率

以 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的 76.5 keV 和 1 241.8 keV γ 射线峰的强度拟合 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 衰变常数的情况如图 3 所示, 拟合的斜率分别为 $-6.304 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ 和 $-6.510 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$, 线性相关系数分别为 0.999 7 和 0.999 9。由于 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 半衰期的测量只有 2 个半衰期, 其准确程度尚需进一步提高。同时由于 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的 76.5 keV 射线峰解谱时易受到干扰, $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的衰变常数取 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的 1 241.8 keV γ 射线峰的强度拟合结果, 为 $6.51 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$, 即其半衰期为 3.37 a, 比评价结果 3.31 a 高约 1.8%。用该衰变常数和测量数据计算出 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 的 76.5 和 1 241.8 keV γ 射线的发射几率如表 5 所列。从表中可看出, 与 ENDF/B 7.1 库的评价数据相比, γ 射线的发射几率的实验测量值分别低 1.87% 和 12.8%。1 241.8 keV γ 射线的发射几率偏低较多的原因可能是该射线受天然环境本底中 ^{214}Bi 的 1 238.1 keV γ 射线的影响。若探测器的通量分辨率较差, 则不可将这两个峰区分, 导致计算的 1 241.8 keV γ 射线的发射几率偏高。本工作的 HPGe 探测器对 ^{60}Co 1 332 keV γ 射线的能量分辨率为 1.7 keV, 分辨率较高, 同时在能谱处理时注意了 ^{214}Bi 的 1 238.1 keV γ 射线的影响。图 4 给出了本工作探测器测量的 1 238.1 和 1 241.8 keV 的 γ 射线能谱及解谱时峰面积的计算情况。

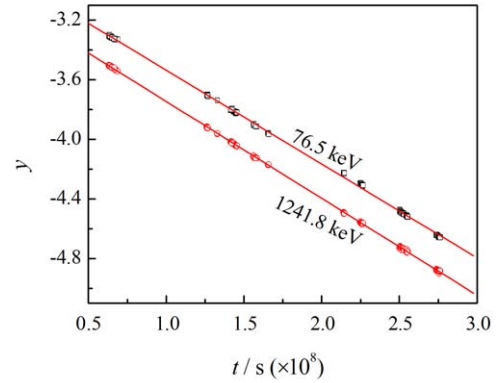


图 3 (在线彩图) $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 衰变常数的拟合图

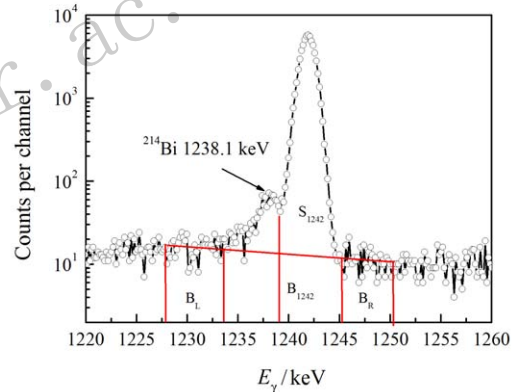


图 4 (在线彩图) $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 1 241.8 keV 附近的能谱及其峰面积计算示意图

表 5 $^{174\text{g}}\text{Lu}$ 主要 γ 射线的发射几率

能量/keV	ENDF/B 7.1		本工作		与 B 7.1 的偏差/%
	发射几率/%	不确定度/%	发射几率/%	样本差/%	
76.5	5.93	4.77	5.82	2.93	-1.87
1 241.8	5.14	2.53	4.48	1.29	-12.8

4 不确定度评定及测量结果推荐

4.1 半衰期测量的不确定度评定

半衰期测量结果的不确定度主要来源有测量计数的统计不确定度, 不同能量射线拟合结果之间的偏差, 在长期的测量过程中, 监督源的变化量、谱仪的稳定性以及未考虑到的其他影响(表 6)。

4.2 γ 射线发射几率的不确定度评定

γ 射线发射几率测量结果的不确定度 A 类评定主要来源有测量计数的统计不确定度, 不同能谱处理结果之间的样本差。不确定度的 B 类评定来源主要有探测器效率标定结果的不确定度, 级联符合相加效应引入的不确定度, 质量称重引入的不确定度、质谱测量核数引入的不确定度、谱仪的稳定性、堆积漏记以及未考虑到的其他影响(表 7, 8)。

表 6 半衰期测量结果的不确定度评定

不确定度来源	¹⁷³ Lu 评定结果	^{174g} Lu 评定结果	评定方法	说明
计数统计	< 0.1%	< 0.1%	A	
不同射线拟合结果间的标准偏差	0.5%	1.6%	A	不同射线拟合结果之间的统计偏差
监督源变化	< 0.5%	< 0.5%	B	
谱仪稳定性	< 0.1%	< 0.1%	B	
堆积漏记	< 0.1%	< 0.1%	B	配备快速前放, 可忽略
其它	< 0.3%	< 0.3%	B	
合成不确定度($k=1$)	0.8%	1.7%		
扩展不确定度($k=2$)	1.6%	3.4%		

表 7 γ 射线发射几率测量结果不确定度的B类评定

不确定度来源	评定结果	说明
探测效率	1.0% ($59.5 < E_\gamma < 122$ keV) 0.5% ($122 < E_\gamma < 1408$ keV)	该探测器近年来使用此效率曲线参加了 ⁶⁰ Co、 ¹⁰⁹ Cd、 ^{152,155} Eu、 ¹³³ Ba、 ¹³⁴ Cs和 ²⁴¹ Am等活度比对, 比活度测量结果均与比对推荐值在1.0%内一致。
级联符合相加效应	< 0.1%	放射源距离探测器达到25 cm
称重	0.1%	十万分之一精密天平
质谱测量	1.0%	包含标准物质和测量引入的不确定度
谱仪稳定性	< 0.1%	
堆积漏记	< 0.1%	配备快速前放, 可忽略
其它	< 0.3%	
合成B类不确定度	1.5% ($59.5 < E_\gamma < 122$ keV) 1.2% ($122 < E_\gamma < 1408$ keV)	

表 8 γ 射线发射几率测量结果不确定度评定结果

核素	E_γ /keV	发射几率/%	样本差/%	不确定度的B类 评定结果/%	合成标准不确定度/% ($k=1$)	扩展不确定度/% ($k=2$)
¹⁷³ Lu	78.6	11.81	1.12	1.5	1.9	3.7
	100.7	4.96	2.34	1.5	2.8	5.6
	171.4	2.80	0.54	1.2	1.3	2.6
	179.4	1.32	1.25	1.2	1.7	3.5
	272.1	20.66	0.64	1.2	1.4	2.7
	636.1	1.55	1.19	1.2	1.7	3.4
^{174g} Lu	76.5	5.82	2.93	1.5	3.3	6.6
	1241.8	4.48	1.29	1.2	1.8	3.5

4.3 测量结果推荐

根据测量和不确定度评定结果, 本文给出¹⁷³Lu半衰期推荐结果为(1.45±0.02) a, ^{174g}Lu半衰期推荐结果为(3.37±0.11) a。 γ 射线发射几率推荐结果为见表9。

表 9 γ 射线发射几率推荐值

核素	E_γ /keV	发射几率推荐值/($k=2$)
¹⁷³ Lu	78.6	11.81±0.44
	100.7	4.96±0.28
	171.4	2.80±0.07
	179.4	1.32±0.05
	272.1	20.66±0.56
	636.1	1.55±0.05
^{174g} Lu	76.5	5.82±0.38
	1241.8	4.48±0.16

5 结论

经长期实验测量, 测得¹⁷³Lu的半衰期为1.45 a, 比目前评价的数据1.37 a高6.1%。由于测量时间接近¹⁷³Lu的5个半衰期, 该结果的可信程度较高。^{174g}Lu半衰期的实测值为3.37 a, 比评价数据3.31 a高约1.8%, 但由于测量时间只有^{174g}Lu的2个半衰期, 尚需进一步测量以提高准确度。尽管ENDF/B 7.1和JEFF 3.1.1两个评价数据库给出了比较一致的评价结果, 但目前的测量结果与评价结果均有一定的差异, 这也说明了对一些重要核数据开展实验测量的必要性。^{174g}Lu的1241.8 keV在效率曲线上处于⁶⁰Co的两条 γ 射线1173.224和1332.49 keV之间, 该能量区间效率值可靠性高, 建议作为归一化值。实测的这些

衰变数据对准确测定 ^{173}Lu , ^{174g}Lu 的活度和 $^{175}\text{Lu}(n, 2n)^{174m,g}\text{Lu}(n, 2n)^{173}\text{Lu}$ 反应的截面均具有重要作用。

参考文献:

- [1] OECD Nuclear Energy Agency. [DB/OL].[2013-11-01]. <http://www.oecd-nea.org/janis>.
- [2] LI Zhiming, Deng Hu, Zhu Fengrong, *et al.* Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2002, **23**: 158. (in Chinese) (李志明, 邓虎, 朱凤蓉, 等. 质谱学报, 2002, **23**: 158)
- [3] LI Zh-ming, Zhu Fengrong, Zhang Zibin, *et al.* Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2005, **26**(suppl.): 45. (in Chinese) (李志明, 朱凤蓉, 张子斌, 等. 质谱学报, 2005, **26**(增刊): 45.)
- [4] LI Zhiming, REN Xiangjun, Deng Hu, *et al.* Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2007, **28**(suppl.): 90. (in Chinese) (李志明, 任向军, 邓虎, 等. 质谱学报, 2007, **28**(增刊): 90)
- [5] XU Jiang, ZHU Fengrong, LI Zhiming, *et al.* Journal of Nuclear and Radiochemistry, 2007, **29**(1): 27. (in Chinese) (徐江, 朱凤蓉, 李志明, 等. 核化学与放射化学, 2007, **29**(1): 27.)

Measurements of Decay Data of ^{173}Lu and ^{174g}Lu

SHI Quanlin¹⁾, BAI Tao, LIU Jie, SHANG Jianbo, ZHANG Xiaolin, DAI Yihua

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: $^{175}\text{Lu}(n,2n)^{174m,g}\text{Lu}(n,2n)^{173}\text{Lu}$ are important neutron reactions to monitor the high energy neutron fluxes and the residual nuclei, $^{174m,g}\text{Lu}$ and ^{173}Lu , are usually measured by a HPGe spectrometer conveniently so that the decay data such as half lives and gamma-ray emission probabilities of $^{174m,g}\text{Lu}$ and ^{173}Lu must be accurate. There are evaluated decay data only in ENDF/B 7.1 and JEFF 3.1.1 among the major evaluated nuclear data libraries, where the most data are almost same besides the gamma-ray emission probabilities of ^{173}Lu are higher in ENDF/B 7.1 than that in JEFF 3.1.1. Yb metal as a target was irradiated by 20 MeV proton beams on a tandem accelerator in CIAE to produce $^{174m,g}\text{Lu}$ and ^{173}Lu , and ^{176}Lu isotopic dilution methods based upon a laser resonance ionization mass spectrometer (LRIMS) and a thermal surface ionization mass spectrometer (TIMS) were employed to determine the numbers of nuclides of ^{174}Lu and ^{173}Lu in a solution containing the irradiated target. Several radioactive sources made from the solution had been measured by a HPGe detector during the past 7 years and the peak intensities of the characteristic gamma-rays from ^{174g}Lu and ^{173}Lu were analyzed to determine the half lives and gamma-ray emission probabilities. According to the measurements, the half life of ^{173}Lu is 1.45 a, which is about 6.1% longer than the evaluated 1.37 a, and the gamma-ray emission probabilities of ^{173}Lu is also different from the evaluated data, especially the emission probability of 636.1 keV gamma-ray of ^{173}Lu is 7% higher than the value in ENDF/B 7.1. The half life of ^{174g}Lu is 3.37 a, about 1.8% longer than the evaluated 3.31 a, and the emission probabilities of 76.5 keV and 1 241.8 keV gamma-rays of ^{174}Lu are 1.87% and 12.8% lower than the evaluated data in ENDF/B 7.1, respectively.

Key words: ^{173}Lu ; ^{174}Lu ; half life; gamma-ray emission probabilities; HPGe

Received date: 2 Jun. 2016; Revised date: 24 Aug. 2016

1) E-mail: Shiquanlin@nint.ac.cn.