

文章编号:1007-2861(2006)02-0191-05

$^{233}_{92}\text{U}_{141}$ α 衰变半衰期和 γ 射线能量与强度数据评价

罗文芸¹, 李欣年¹, 刘静怡²

(1. 上海大学 射线应用研究所, 上海 201800; 2. 中科院 上海应用物理研究所, 上海 201800)

摘要: ^{233}U 是可裂变材料, 可作为核燃料, 有重要的应用价值, 其衰变数据的评价是十分重要的, 但是 1990 年以后国际上没有新的评价数据. 近来已陆续报道了一些有关 ^{233}U 核数据的实验工作, 因此有必要对此进行更新. 作者检索了核科学参考文献库, 对 ^{233}U 进行有关数据搜集和重新评价, 并给出评价推荐的衰变数据.

关键词: 核数据评价; 铀-233; 衰变数据

中图分类号: O 571 **文献标识码:** A

Evaluation of Energies and Intensities of γ Rays from $^{233}_{92}\text{U}_{141}$ α -Particle Decay

LUO Wen-yun¹, LI Xin-nian¹, LIU Jing-yi

(1. Institute of Applied Radiation, Shanghai University, Shanghai 201800, China;

2. Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract: ^{233}U is a fissionable material that can be used as nuclear fuels. However, no results of decay data evaluation have been published since 1990. As some recent measurements have become available, it is necessary to update the evaluation. Based on a search of the new measurement results from the Nuclear Science References File (NSRF), evaluation of decay data of ^{233}U is recommended in this paper.

Key words: evaluation of nuclear data; 233-U; decay data

核反应堆是一个能维持和控制核链式反应, 从而实现核能-热能的装置. 反应堆的堆芯燃料是由裂变材料组成. 自然界天然存在的易裂变材料只有 ^{235}U , 它在天然铀中的含量仅有 0.711%, 还有两种利用反应堆或加速器生产出来的裂变材料 ^{233}U 和 ^{239}Pu . 因此, ^{233}U 具有重要的应用价值, 其产生方式通常是热中子活化, 核反应方程式为 $^{232}\text{Th}(n, \gamma)^{233}\text{U}$, 自旋宇称: $5/2^+$, 衰变能: $Q_{\alpha} = 4\,908.6\text{ keV}$ 12 (4 908.6 keV 12 表示 $(4\,908.6 \pm 1.2)\text{ keV}$ (最后一位有效数字对齐), 下同), 衰变分支比: $\% \alpha = 100$. 重新评价 ^{233}U 核数据, 对于掌握该核素的衰变特性以及

更好地利用该核素是极为重要的.

作者检索了核科学参考文献库 (Nuclear Science References File, NSRF), 对 ^{233}U 进行有关数据的搜集和更新评价, 并给出评价推荐数据. 核数据库 (Nuclear Data Sheets, NDS) 有关 ^{233}U 核数据评价的最后数据是由 Y. A. A. Kovalik 在 1990 年提供的^[1].

1 半衰期

经文献调研 1990 年前发表的 ^{233}U 半衰期数据共有 10 家, 未搜集到 1990 年以后有关新实验测量数据, NDS 的评价值^[1] 为: $T_{1/2} = 1.592 \times 10^5\text{ yr}$ 2. 在

这10家数据中,前4家精度较好,表1列出这4家的实验数据.我们对其取加权平均值作为本工作的评价推荐数据, $T_{1/2} = 1.5919 \times 10^5 \text{ yr}$.

表1 ^{233}U 半衰期测量数据和发表者
Tab.1 Half-lives of ^{233}U and publishers

| 发表者 | 半衰期 |
|---|------------------|
| R. Vaninbroukx, P. De Bievre, <i>et al</i> ^[2] | 1.592 5e+5 yr 40 |
| A. H. Jaffey, K. F. Flynn, <i>et al</i> ^[3] | 1.591 1e+5 yr 15 |
| A. M. Geidelman, Yu. S. Egorov, <i>et al</i> ^[4] | 1.593 7e+5 yr 22 |
| C. K. Aggarwal, S. N. Acharya, <i>et al</i> ^[5] | 1.588 5e+5 yr 75 |

2 γ 射线能量和强度

经文献调研,从1990年1月至2004年12月间,先后有 O. El Samad 等^[6]、R. G. Helmer 等^[7]、A. Koua Aka 等^[8]以及 V. Barci 等^[9]发表了有关 ^{233}U 的 γ 射线能量和强度测量数据,它们分别是法国 University de Nice 辐射化学实验室、美国爱达荷国家工程实验室,先后与美国阿贡国家实验室和佛罗里达州立大学化学和物理系合作的成果。

本文基于上述4家工作的实验条件和发表数据的精度,结合核物理和核测量知识,予以数据评价,给出评价推荐的 γ 射线能量和强度值.下面分述这4家实验内容。

O. El Samad 等人来自于法国 University de Nice 辐射化学实验室,他们实验所需的 ^{233}U 样品由 C. E. A. (Centre d'Etudes Atomiques)提供,质量为10 mg和100 mg,同位素纯度大于99.9%.测量用3个同轴 Ge 探测器, p-型高纯锗效率17%,半宽度1.9 keV(在1.33 MeV, ^{60}Co 光电峰); n-型锗同轴探测器,相对效率30%,半宽度1.85 keV; p-型高纯锗,相对效率40%.1个平面锗探测器,面积200 mm².多道分析器是 Ortec918 (8 192道).结果给出163条 γ 射线的能量和强度,其中强度为相对于208.22 keV γ 射线的强度,但没有给出误差。

Koua Aka 与 O. El Samad 出自同一实验室,他们与美国阿贡国家实验室合作进行实验. ^{233}U 实验样品由 C. E. A. 提供,质量为100 mg,同位素纯度大于99.9%.探测器用高效率的高纯锗,测量中加入了 γ - γ 符合测量,用3个探测效率为15%的高纯锗同轴探测器,相对90°放置,1个面积为20 cm²的高纯锗平面探测器.结果给出178条 γ 射线的能量和强度,

万方数据

其中强度为相对于208.22 keV γ 射线的强度。

V. Barci 也是法国 University de Nice 辐射化学实验室的,与美国佛罗里达州立大学化学和物理系合作, ^{233}U 样品由 C. E. A. 提供,质量为10 mg,用于单谱测量;另一部分 ^{233}U 样品由 INP(Institut de Physique Nucleaire)提供,质量为100 mg,主要用于符合测量;样品的同位素纯度大于99.9%.用于单谱测量的探测器有:(1)平面低能光子谱仪,灵敏区体积2 cm³,半宽度190 eV(在6.4 keV, 铁的 K_a 线),样品(10 mg)距探测器7 cm,测量时间68 h;(2)p-型同轴高纯锗,相对效率30%,能量分辨率1.9 keV(在1.33 MeV, ^{60}Co 光电峰),样品(10 mg)靠近探测器,测量时间45 h;(3)p-型同轴高纯锗,相对效率40%,能量分辨率1.9 keV,样品(100 mg)距探测器10 cm,源与探测器之间放置2块1 mm厚的铅和1块1 mm厚的铜片作为吸收片,测量时间40 h;(4)p-型高纯锗同轴探测器,效率30%,能量分辨率1.85 keV,样品(10 mg)放在探测器顶部,测量时间160 h.用于符合测量的探测器有:4个高纯锗,其中3个为同轴型,1个为平面型,放置位置相向90°,距源15 cm,分辨率同轴为1.8 keV(1.33 MeV处),平面型为500 eV(122 keV处),效率分别为17%和5%.多道分析器为 EG&G Ortec 公司(8 000道).结果给出220条 γ 射线的能量和强度。

R. G. Helmer 是美国爱达荷国家工程实验室的,此项工作由该实验室完成,主要研究 ^{229}Th 的第一激发态.为了精确的能量刻度,选用多个标准源 $^{172}\text{Hf} + ^{172}\text{Lu}$ 、 ^{161}Tb 、 ^{241}Am 、 ^{182}Ta 、 ^{169}Yb 、 ^{152}Eu 、 ^{210}Pb 和 ^{170}Tm .针对每一条 ^{233}U 低能级的 γ 射线能量,选择与它有相近能量的标准源与 ^{233}U 源一起,进行 γ 能谱测量.采用标准源精确的能量值,用最小二乘法拟合,进行能量刻度.利用拟合得到的感兴趣峰 X_0 和邻近峰位 X_1 、 X_2 , 使用邻近峰相关性拟合程序确定近邻峰的能量差, $\Delta E = E_0 - E_1 = b(X_0 - X_1) + c(X_0^2 - X_1^2)$, $\Delta E = E_2 - E_0 = b(X_2 - X_0) + c(X_2^2 - X_0^2)$, X_1 、 X_2 为标准源的 γ 射线能量值峰位.由 E_0 相邻的两个标准源 γ 能量值以及 ΔE ,可精确算得 E_0 值.再从 ^{229}Th 能级图给出的级联衰变和直接衰变关系,对 ^{229}Th 基态上方4组衰变关系式进行加减运算,即能得出第一激发态能量 Δ ,将4组衰变关系式求得的 Δ 值进行加权平均,得 ^{229}Th 第一激发态能级值为 $(3.5 \pm 1.0) \text{ eV}$.此外,文献中还给出了利用上述方

法精确求得另外 32 条 γ 射线的能量值.所用的数据均在不同的探测器和不同的实验条件下测得,对各个测量值分别计算加权平均值以及数据总体的加权平均值.实验采用了 5 个探测器,其中 2 个同轴 HPGe,半宽度分别为 950 eV 和 900 eV(在 122 keV 上),2 个平面 HPGe,半宽度为 390 eV 和 270 eV(在 29 keV 上),1 个 Si(Li),半宽度 345 eV(在 29 keV 上).根据²³³U γ 射线的不同能量,采用相应的探测器进行测量,测量时间 72 h.

从上述 4 篇文献看,O. El Samad 和 A. Koua Aka

做的是比较早期的工作,测量数据的精度较后期结果差,所以本文不予推荐;V. Barci 发表的数据是该项工作的最新结果,测量数据精度有了很大的改善,γ 射线能量范围大,本文采用其 γ 射线强度值作为评价推荐值;R. G. Helmer 选用多个标准源精确进行能量刻度,测量的 γ 射线能量数据精度较高,由于他们研究²²⁹Th 的第一激发态,因此只给出²³³U 的低 γ 能量值,且能量范围较小.本文采用 V. Barci 和 R. G. Helmer 的 γ 射线能量,对其进行加权平均,作为 γ 射线能量评价推荐值(见表 2).

表 2 ²³³U α 衰变 γ 射线能量和强度推荐数据

Tab.2 Recommended energies and intensities of γ rays from ²³³U α-particle decay

| E_{γ}/keV | I_{γ}^* | E_{γ}/keV | I_{γ} | E_{γ}/keV | I_{γ} |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| 0.003 5 | 10 | > 2 100 | 141.95 | 10 | 0.009 0 |
| (13.244) ^a | 2.4 ^b | 7 | 142.69 | 1 | 0.034 |
| 20.25 | | | 144.426 | 14 | 0.30 |
| 25.02 | 5 | 0.10 | 145.342 | 3 | 1.73 |
| 25.310 6^f | 8 | 2.11 | 146.346 2 | 6 | 6.5 |
| (27.119) | | < 0.002 | 146.9 | 5 | 0.116 |
| (28.288) | | 0.036 ^b | 148.179 | 10 | 0.397 |
| 29.186 5 | 10 | 7.8 | 149.691 | 24 | 0.095 |
| (29.190) | | 2.7 ^b | 152.62 | 10 | 0.011 |
| (29.382) | | 0.80 ^b | 153.13 | 5 | 0.037 ^c |
| 31.449 | 13 | 0.24 | 154.846 | 22 | 0.143 |
| (32.453) | | 0.016 ^b | 156.15 | 5 | 0.036 |
| 32.57 | 3 | 0.018 ^d | 162.48 | 3 | 0.054 ^c |
| 32.73 | 5 | 0.97 | 163.72 | 3 | 0.117 |
| 36.516 | 23 | 0.14 | (164.5) | | 0.261 ^e |
| 36.95 | 3 | 0.12 | 164.525 | 5 | 6.0 ^c |
| 37.823 | 16 | 0.25 | 165.581 | 19 | 0.407 |
| 42.005 | 19 | 0.34 | 167.10 | 7 | 0.016 5 |
| (42.431) | | 0.18 ^b | 169.10 | 9 | 0.041 |
| 42.4472 | 82 | 72 | 170.82 | 3 | 0.100 |
| 42.629 6 | 21 | 13.2 | 172.34 | 10 | 0.022 8 |
| 43.69 | 3 | 0.042 | 174.209 | 18 | 0.170 |
| 44.813 | 21 | 0.028 ^d | 176.12 | 5 | 0.016 |
| (45.855) | | 0.009 1 ^b | 177.94 | 16 | 0.006 6 ^c |
| 51.0 | 3 | 0.03 | 184.1 | 3 | 0.022 |

续表

| E_γ/keV | | I_γ^c | | E_γ/keV | | I_γ | | E_γ/keV | | I_γ | |
|-----------------------|-----------|----------------------|----|-----------------------|-----------|-------------------|----|-----------------------|----|-----------------------|----|
| 52.607 | 25 | 0.10 | 3 | 185.83 | 11 | 0.007 8 | 21 | 423.09 | 14 | 0.000 52 ^c | 14 |
| 53.6106 | 9 | 3.47 | 18 | 187.12 | 3 | 0.032 | 4 | 425.33 | 12 | 0.000 80 | 14 |
| 54.703 9 | 9 | 16.8 | 8 | 187.966 9 | 3 | 1.87 | 9 | 436.20 | 12 | 0.003 5 ^c | 9 |
| 63.79 | 6 | 0.029 | 11 | 188.65 | 6 | 0.025 | 4 | 441.53 | 17 | 0.000 73 | 22 |
| 65.62 | 5 | 0.05 | 1 | 192.29 | 6 | 0.036 | 4 | 449.46 | 7 | 0.006 4 | 8 |
| 66.118 3 | 6 | 1.02 | 6 | 198.60 | 1 | 0.003 8 | 13 | 455.13 | 11 | 0.001 17 | 21 |
| 67.945 | 4 | 0.320 | 23 | 205.90 | 15 | 0.022 8 | 24 | 456.87 | 16 | 0.000 44 | 21 |
| 68.85 | 6 | 0.100 | 23 | 207.25 | 9 | 0.032 | 5 | 459.74 | 6 | 0.007 60 | 11 |
| 70.2813 | 13 | 0.58 | 4 | 208.179 5 | 7 | 2.29 | 11 | 465.37 | 12 | 0.000 47 | 23 |
| 71.814 3 | 13 | 1.81 ^{b,c} | 14 | 209.08 | 8 | 0.019 | 3 | 471.05 | 4 | 0.018 50 | 18 |
| | | 1.16 ^{b,c} | 12 | 210.90 | 8 | 0.013 7 | 24 | 473.51 | 18 | 0.003 0 | 15 |
| (72.825) | | <0.03 | | 212.332 | 19 | 0.130 | 7 | 474.41 | 8 | 0.000 77 | 11 |
| 74.542 4 | 51 | 1.49 | 8 | 214.98 | 11 | 0.005 8 | 16 | 478.64 | 4 | 0.014 8 | 12 |
| 76.349 6 | 40 | 0.30 ^c | 3 | 216.053 | 17 | 0.62 | 3 | 484.8 | 3 | 0.002 3 | 10 |
| | | <0.02 ^c | | 217.151 4 | 40 | 3.28 | 16 | 500.44 | 23 | 0.000 70 | 23 |
| 77.142 | 8 | 0.43 ^c | | 217.8 | 2 | <0.003 | | 513.23 | 13 | 0.016 5 ^c | 21 |
| 78.21 | 5 | 0.044 | 7 | 219.421 | 18 | 0.118 | 6 | 514.72 | 13 | 0.011 2 | 18 |
| 83.000 | 13 | 0.197 | 22 | 223.39 | 6 | 0.024 | 3 | 523.59 | 24 | 0.000 94 | 24 |
| 85.16 | 5 | 0.12 | 4 | 224.39 | 19 | 0.001 3 | 4 | 531.54 | 8 | 0.000 70 | 23 |
| 86.3 | 3 | 0.038 ^{b,c} | 3 | 226.2 | 2 | 0.070 | 23 | 533.53 | 5 | 0.001 17 | 23 |
| | | 0.099 ^c | 23 | 230.11 | 3 | 0.071 | 5 | 536.44 | 12 | 0.000 47 | 23 |
| 87.30 | 15 | 0.088 | 22 | 230.97 | 9 | 0.008 6 | 22 | 540.68 | 13 | 0.001 64 | 23 |
| 88.7 | 2 | 0.229 | 23 | 237.51 | 10 | 0.005 1 | 17 | 542.41 | 13 | 0.000 47 | 23 |
| 89.956 | 19 | 0.26 | 3 | 240.372 6 | 33 | 0.413 | 22 | 559.87 | 18 | ≈0.000 23 | |
| 90.999 | 11 | 0.31 | 4 | 240.90 | 4 | | | 562.95 | 24 | 0.001 4 | 7 |
| (91.433) | | 0.041 ^b | 7 | 244.50 | 6 | 0.038 | 5 | 569.31 | 16 | 0.003 9 | 15 |
| 92.23 | 12 | 0.033 | 12 | 245.349 7 | 11 | 3.57 | 18 | 576.09 | 20 | 0.000 9 | 4 |
| 92.85 | 3 | 0.26 | 3 | 248.710 | 16 | 1.40 ^c | | 578.61 | 17 | 0.003 4 | 11 |
| 96.232 | 4 | 1.70 | 9 | 255.89 | 3 | 0.039 3 | 25 | 584.94 | 16 | ≈0.000 23 | |
| 96.69 | 7 | 0.190 | 25 | 259.268 | 19 | 0.155 | 8 | 591.6 | 3 | 0.000 70 | 23 |
| 97.137 6 | 11 | 20.3 | 10 | 260.52 | 3 | 0.102 | 6 | 605.22 | 13 | 0.004 8 | 9 |
| 97.37 | 4 | 2.0 | 6 | 261.944 | 18 | 0.278 | 14 | 608.15 | 5 | 0.000 47 | 23 |
| (98.565) | | 0.097 ^b | 16 | 268.680 | 18 | 0.248 | 12 | 614.60 | 20 | 0.000 70 | 23 |
| 99.95 | 15 | 0.019 | 6 | 272.40 | 9 | 0.071 | 4 | 620.63 | 23 | 0.001 5 | 6 |
| 101.73 | 3 | 0.069 | 15 | 273.74 | 5 | 0.015 5 | 17 | 627.70 | 8 | 0.000 47 | 23 |
| 103.84 | 18 | 0.063 | 19 | 274.734 6 | 13 | 0.420 | 22 | 633.51 | 12 | 0.000 69 | 23 |
| 111.927 | 7 | 0.40 | 3 | 278.102 | 14 | 1.13 | 6 | 637.25 | 10 | ≈0.000 23 | |
| 114.2 | 2 | 0.183 | 23 | 284.23 | 8 | 0.008 9 | 16 | 652.79 | 19 | ≈0.000 23 | |

续表

| E_γ/keV | | I_γ^c | | E_γ/keV | | I_γ | | E_γ/keV | | I_γ | |
|-----------------------|-----------|----------------------|----|-----------------------|----------|--------------------|----|-----------------------|----|------------|----|
| 116.3 | 2 | 0.004 7 ^e | 9 | 287.32 | 14 | 0.015 | 7 | 657.30 | 17 | 0.004 0 | 10 |
| | | 0.121 ^e | 23 | 288.029 2 | 9 | 0.91 | 5 | 665.03 | 10 | ≈0.000 23 | |
| 117.161 8 | 21 | 2.87 | 14 | 288.50 | 3 | 0.117 | 14 | 702.7 | 3 | 0.001 1 | 5 |
| 118.967 9 | 48 | 3.63 | 18 | 290.62 | 3 | 0.109 | 7 | 707.4 | 3 | 0.002 0 | 9 |
| 120.819 4 | 7 | 2.82 | 15 | 291.353 | 16 | 0.62 ^e | 25 | 714.3 | 3 | 0.000 47 | 23 |
| 123.885 9 | 7 | 0.72 | 5 | | | 4.63 ^e | 25 | 720.62 | 11 | 0.000 47 | 23 |
| 125.04 | 23 | 0.010 | 3 | 291.93 | 4 | 0.102 | 15 | 721.88 | 14 | 0.004 0 | 11 |
| 125.41 | 4 | 0.051 | 10 | 294.006 | 24 | 0.122 | 7 | 749.8 | 4 | 0.000 47 | 23 |
| (129.514) | | ≈0.06 | | 302.978 | 19 | 0.078 ^e | 4 | 765.82 | 20 | 0.000 14 | 7 |
| 131.24 | 10 | 0.017 4 | 22 | 307.29 | 16 | 0.005 | 14 | 843.35 | 10 | 0.000 16 | 5 |
| (132.1) | | 0.003 5 ^b | | 309.58 | 12 | 0.083 | 5 | 927.1 | 3 | 0.001 4 | 7 |
| 135.339 4 | 24 | 1.97 | 10 | 310.71 | 5 | 0.038 | 3 | 932.6 | 3 | 0.000 14 | 7 |
| 139.3 | 3 | 0.020 6 ^e | | 311.9 | 3 | 0.063 | 4 | 1 109.8 | 5 | 0.000 8 | 3 |
| 139.722 4 | 36 | 0.090 | 18 | 313.45 | 18 | 0.005 6 | 11 | | | | |

注:(a)括号内的数据为实验未观测到,从计算得到结果;(b)强双旋转模型计算结果;(c)多重放置跃迁;(d)强度平衡计算结果;(e)γ射线强度为相对于母核为 10^5 个α粒子衰变的强度,本文的推荐值;(f)黑体数据为V.Barci和R.G.Helmer 2家测量结果的加权平均值

3 结 论

文献检索未搜集到1990年以后有关²³³U半衰期新的实验测量数据,用1990年以前的实验数据,采用加权平均方法,给出半衰期推荐值为 $T_{1/2} = 1.5919 \times 10^5 \text{ yr}$ 12.有关γ射线能量和强度新的实验测量数据,V.Barci给出的是这项工作的最新结果,测量精度有了很大改善,本文采用其γ射线强度值作为评价推荐值,R.G.Helmer选用多个标准源精确进行能量刻度,给出了²³³U的低能γ射线能量,测量精度较高.本文采用了上述2家测量结果的加权平均值作为²³³U的γ射线能量评价推荐值.这次评价工作因为搜集到的新的实验测量数据较少,例如γ射线能量实际上只有2家的测量值,所以,数学处理上只采用了加权平均法.在核数据评价工作中,如果搜集到多家实验数据,在物理评价的基础上,还可采用其他数学处理方法,如改进的贝叶斯法、标准余数法和二次平均法等.

参考文献:

- [1] AKOVALI Y A. Nuclear data sheets for $A = 233$ [J]. Nuclear Data Sheets, 1990, 59:263.
- [2] VANINBROUKX R, DE BIEVRE P, DUGOU Y L, et al. New determination of the Half-Life of ²³³U[J]. Phys Rev, 1976, C13:315.
- [3] JAFFEY A H, FLYNN K F, KARTTUNEN J O. New determination of the ²³³U specific activity and half-life [J]. Phys Rev, 1974, C9:1991.
- [4] GEIDELMAN A M, EGOROV Y S, LIPOVSKII A A, et al. Half-life of ²³³U [J]. Phys Ser, 1979, 43(5):25.
- [5] AGGARWAL C K, ACHARYA S N, JAIN H C. Half-life of ²³³U [J]. Radiochem Radioanal Lett, 1980, 42:45.
- [6] SAMAD O E, ARDISSON C, HUSSONNOIS M, et al. New gamma ray following the ²³³U α-decay[J]. Radioanal Nucl Chem Letters, 1992, 164(3):171-182.
- [7] HELMER R G, REICH C W. An excited state of ²²⁹Th at 3.5 eV [J]. Phys Rev C, 1994, 49(4):1845-1858.
- [8] AKA A K, ARDISSON G, BARCI V, et al. Reinvestigation of the alpha-decays of ²⁴⁹Cf and ²³³U [J]. Nucl & Methods in Phys Res A, 1996, 369:477-485.
- [9] BARCI V, ARDISSON G, BARCI-FUNEL G, et al. Nuclear structure of ²²⁹Th from gamma-ray spectroscopy study of ²³³U alpha-particle decay [J]. Phys Rev C, 2003, 68:034329-1-23.

(编辑:陈海清)

233 92U141 α 衰变半衰期和 γ 射线能量与强度数据评价

作者: [罗文芸](#), [李欣年](#), [刘静怡](#), [LUO Wen-yun](#), [LI Xin-nian](#), [LIU Jing-yi](#)
作者单位: [罗文芸, 李欣年, LUO Wen-yun, LI Xin-nian\(上海大学, 射线应用研究所, 上海, 201800\)](#), [刘静怡, LIU Jing-yi\(中科院上海应用物理研究所, 上海, 201800\)](#)
刊名: [上海大学学报\(自然科学版\)](#) **ISTIC PKU**
英文刊名: [JOURNAL OF SHANGHAI UNIVERSITY\(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)
年, 卷(期): 2006, 12(2)
引用次数: 0次

参考文献(9条)

1. [AKOVALIY A Nuclear data sheets for A = 233 1990](#)
2. [VANINBROUKX R, DE BIEVRE P, DUIGOU Y L New determination of the Half-Life of 233 U 1976](#)
3. [JAFHEY A H, FLYNN K F, KARTFUNEN J O New determination of the 233U specific activity and half-life 1974](#)
4. [GEIDELMAN A M, EGOROV Y S, LIPOVSKII A A Half-life of 233U 1979\(5\)](#)
5. [AGGARWAL C K, ACHARYA S N, JAIN H C Half-life of 233U 1980](#)
6. [SAMAD O E, ARDISSON C, HUSSONNOIS M New gamma ray following the 233U \$\alpha\$ -decay 1992\(3\)](#)
7. [HELMER R G, REICH C W An excited state of 229Th at 3.5 eV 1994\(4\)](#)
8. [AKA A K, ARDISSON G, BARCI V Reinvestigation of the alpha-decays of 249 Cf and 233 U 1996](#)
9. [BARCI V, ARDISSON G, BARCI-FUNEL G Nuclear structure of 229Th from gamma-ray spectroscopy study of 233U alpha-particle decay 2003](#)

相似文献(0条)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_shdxxb200602018.aspx

下载时间: 2010年4月13日