

# 超铀核素的热中子截面评价

顾复华 刘继才

关键词 超铀核素, 热中子截面, 评价数据。

超铀核素包括原子序数比铀 ( $Z=92$ ) 大的那些元素的各种同位素, 即镅及其以上各元素的各种同位素。但目前有中子截面数据的只到  $^{257}\text{Fm}$ 。本评价对  $^{241}\text{Am}$  直到  $^{257}\text{Fm}$  的 25 个核素的热中子截面数据进行了收集、分析和必要的处理, 给出了推荐值。数据是按 CINDA-A (1935—1976) 和 CINDA-81 (1977—1981.4.1) 所列资料目录收集的, 凡是 1981 年国内能得到的所有国内外的测量数据已尽量找齐。这里评价的 25 个核素实际上是有热中子截面数据的全部超铀核素。

评价推荐超铀核素的热中子截面数据有着几方面的意义。首先是超铀核素生产的需要。超铀核素本身或其衰变产物作为放射源或同位素能源在国防和国民经济中都有较广泛的用途。例如  $^{252}\text{Cf}$  的自发裂变作为标准的裂变谱中子源, 一些超铀核素衰变产生的  $^{238}\text{Pu}$  作为心脏起搏器的能源, 都是人们所熟知的。一些超铀核素的裂变截面很大, 数十毫克的量就能达到临界, 用它们作为核武器或反应堆的燃料也是人们很感兴趣的。因而世界上有可能生产超铀核素的国家都在尽力多生产一些来满足各方面的需求。对于选择生产的最佳条件和预计生成链上各核素的产额, 热中子截面是必不可少的数据。其次, 超铀核素的热中子截面数据也是反应堆发展中的废物处理所需要的。使用过的堆燃料中含有一定放射性剧毒的超铀核素, 要在一定条件下把它们在反应堆中烧掉也要知道热中子截面。此外还对核结构的系统学研究有一定意义。如在奇-奇核的热中子裂变截面系统学研究中, 就发现裂变截面与靶核的自旋态有关。

超铀核素大多数具有很强的  $\alpha$  放射性, 有的自发裂变很强, 因而高原子序数或高质量数的核素的产量至今很少, 样品难得, 这些都给直接实验测量工作带来不少问题。因此, 根据反应堆照射后的样品经同位素分离而定出的产额所导出的热中子俘获截面和裂变截面数据以及样品量要求小的裂变截面直接测量数据多一些, 样品量要求较大的全截面数据则很少。1975 年 IAEA 顾问小组在西德 Karlsruhe 开了一个有关超铀核素核数据的工作会议, 会后美国和西欧等国家的一些实验室对样品的制备、测量技术和探测方法等做了较多研究, 并测得了一些新的数据。苏联也测了一些。但总的说来, 超铀核素的中子截面数据至今还不是很多, 测量精度也还较差, 有待提高。

热中子截面在不同的文章中常有不同的含义, 有时容易混淆。本文所说的热中子截面是指速度为 2200 米/秒或能量为 0.0253 eV 的中子引起的核反应截面, 并用  $\sigma^{2200}$  或  $\sigma^0$  表示。但有时由于数据缺乏, 当无  $\sigma^0$  的测量值时, 我们还推荐了在热柱上或用镅差法在热中子反应堆中测得的截面值。这种截面实际上是 0.0253 eV 附近一定能区中子的平均截面。有些文章中也称之为热中子截面, 为区别起见, 我们称这种平均截面为热中子谱截面, 并用  $\sigma(\text{热})$  表示。这两种截面之间一般没有什么关系, 但在假定热能区的中子服从 Maxwell 分布和所测核素的截面按  $1/v$  规律变化时, 则可由  $\sigma(\text{热})$  导出  $\sigma^0$ 。对少数既无  $\sigma^0$  也无  $\sigma(\text{热})$

测量值的核素，我们就列出其堆谱截面 $\sigma$ (堆)或有效截面 $\sigma$ (有效)数据，作为参考。

评价中对选用的数据有些作了必要的改变。这主要是当一些较早的测量中所用的半衰期数据与新的数据差别较大时，用新的半衰期对截面数据作了修正；当一些相对测量中所用的标准截面值与新的值相比变化较大时，对原测量结果重新作了归一。但当测量误差已比这些变化大得多时，则不再作修正。

推荐值的给出原则是取所选各家测量数据的加权平均值。各家数据的权重一般用其误差平方的倒数。如果测量者未给误差则评价者指定适当的误差。推荐值的误差在不同情况下采取不同的给法。当测量家数很少，例如只有两、三家时，按一般的误差计算方法计算似乎没有多大意义，因而选一家测量数据的误差作为推荐值的误差。当测量家数较多时，则分别按 $1/(\sum w_i)^{1/2}$ 和 $[\sum w_i d_i^2 / \sum w_i (n-1)]^{1/2}$ 算出误差，取其中的大者。这里 $w_i$ 表示第 $i$ 家数据的权重； $d_i$ 表示第 $i$ 家数据与加权平均值的差； $n$ 表示所选数据的家数。

我们的超铀核素热中子截面推荐值列于附表。其他评价推荐值有：Lynn (80)<sup>[1]</sup>的<sup>241</sup>Am 推荐值，我们采用了；Holden(77)<sup>[2]</sup>对全部超铀核素的推荐值，由于未见到其评价资料，难于说出有的数值与我们不同的原因，但我们采用了他个别的、我们找不到其他数据

附表 超铀核素的热中子截面推荐值

核 素	$\sigma_{a,y}, b$	$\sigma_{a,j}, b$	$\sigma_a^0, b$	$\sigma_y^0, b$
<sup>241</sup> Am	540 ± 20 (→ <sup>242g</sup> Am) 60 ± 7 (→ <sup>242m</sup> Am)	3.1 ± 0.2		615 ± 20
<sup>242m</sup> Am	~1000	7032 ± 280		~8000
<sup>243</sup> Am	77.9 ± 6.0	0.20 ± 0.11		85 ± 4
<sup>242</sup> Cm	16 ± 5	<5		
<sup>243</sup> Cm	131 ± 10	620 ± 26		
<sup>244</sup> Cm	15.2 ± 1.2	1.0 ± 0.2		23 ± 3
<sup>245</sup> Cm	350 ± 20	2020 ± 90		
<sup>246</sup> Cm	1.2 ± 0.2	0.17 ± 0.10		
<sup>247</sup> Cm	60 ± 30	88 ± 7		
<sup>248</sup> Cm	3 ± 1	0.37 ± 0.04 (热)		
<sup>249</sup> Bk			1687 ± 100	
<sup>250</sup> Bk		960 ± 150 (热)		
<sup>249</sup> Cf	530 ± 30	1680 ± 101		
<sup>250</sup> Cf	2034 ± 200 (热)			
<sup>251</sup> Cf	2850 ± 150 (热)	5050 ± 505 (热)		
<sup>252</sup> Cf	20.4 ± 2.0	31.6 ± 4.0		
<sup>253</sup> Cf	19.7 ± 2.0 (有效)	1300 ± 240 (热)		
<sup>254</sup> Cf			100 ± 50 (堆)	
<sup>253</sup> Es	155 ± 20 (→ <sup>254m</sup> Es) ≤3 (→ <sup>254g</sup> Es)			
<sup>254g</sup> Es		2900 ± 110 (热)		
<sup>254m</sup> Es		1840 ± 80 (热)		
<sup>255</sup> Es	65 ± 20 (堆)			
<sup>254</sup> Fm			1400 (有效)	
<sup>255</sup> Fm	26 ± 3 (堆)	3350 ± 170 (热)		
<sup>256</sup> Fm	~45			
<sup>257</sup> Fm	2850 ± 600 (热)	2950 ± 160 (热)		

(下转封底)

(上接第 286 页)

的核素数值; Benjamin (75)<sup>[3]</sup> 是使其推荐值与当时的微分和积分测量以及生产链中主要核素的实际产额一致, 因而对单个核素的数据, 则推荐值与测量值之间有的相差较大; Mughabghab(73)<sup>[4]</sup> 是依据实验值推荐的, 与本评价类似。但从那以后, 又有了不少新的测量值, 因而与我们的推荐值之间存在的差别主要是我们采用了新的测量值所引起。

### 参 考 文 献

- [1] J. E. Lynn et al., *Prog. Nucl. Energy*, 5, 255 (1980).  
[2] N. Holden, 转引自 *Table of Isotopes*, 7th ed. (Ed. C. Michael & Virginia S. Shirley), 1978.  
[3] R. W. Benjamin et al., EPRI-NP-161 (1975).  
[4] S. F. Mughabghab & D. L. Garber, BNL-325, 3rd ed., Vol. 1, 1973.

(编辑部收到日期: 1982年3月28日)

原子能科学技术 (双月刊)

一九八三年第三期

编 辑 者 《原子能科学技术》编辑委员会  
(北京 275 信箱 65 分箱)

印 刷 者 北 京 印 刷 一 厂  
总 发 行 处 北 京 市 邮 局

出 版 者 原 子 能 出 版 社

订 购 处 全 国 各 地 邮 局

本刊代号: 2—198

定价: 1.05 元

1983 年 5 月 20 日出版(限国内发行)

北京市期刊登记证: 253 号