

# 铕的快中子俘获截面

向正瑜 徐海珊 李业祥 牟运山 王世明

(四川大学原子核科学技术研究所, 成都)

刘建峰

(郑州大学物理系)

## 摘 要

使用大液体闪烁探测器, 相对于金的俘获截面测量了铕 (Eu) 六个能量点的中子俘获截面值; 用光学模型和统计理论计算了  $^{151}\text{Eu}$  和  $^{153}\text{Eu}$  在 0.1—2.0 Mev 能区的中子俘获截面; 对实验测量和理论计算结果进行了分析和讨论。

## 一、引 言

随着核能利用的不断发展, 世界各国已经或正在建造各种类型的反应堆。在研究设计新堆时, 对裂变产物核的情况非常关心。这些核的中子数据, 包括  $(n, \gamma)$  截面是重要的核数据。在混合堆和快堆中, 裂变主要来自  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$  的快中子裂变以及  $^{233}\text{U}$ 、 $^{239}\text{Pu}$  的热中子裂变, 裂变产物核有一百多个, 其中铕是重要的裂变产物, 它有较强的俘获截面, 该数据直接影响反应堆的设计。因此对它进行实验测量和理论研究是很有意义的。理论和实验相配合可获得大量数据, 可完善核反应理论计算。因为根据实验数据选择模型参量, 所以测量数据的精度对理论计算的准确性影响很大。

在我们研究的能区内, 早先的实验工作仅有两家。一是美国阿贡实验室 Poenitz<sup>[1]</sup> 的工作, 他发表的两个能点的数据是在 1983 年, 测量方法为大液体闪烁探测器。另一个是美国橡树岭实验室的 Macklin, 他的测量是 1984 年完成的, 但没有正式公布结果。

原子核俘获中子后处于激发态, 会瞬时发射一组  $\gamma$  射线。在实验中用大液体闪烁探测器测量瞬发俘获  $\gamma$ 。这种探测器体积大, 属  $4\pi$  几何类型, 探测效率高, 为了降低测量本底, 除对探测器加强屏蔽外, 还采用快符合电路和中子飞行时间方法。

## 二、实验测量

单能中子源是在脉冲化 2.5MV 质子静电加速器上, 通过  $\text{T}(p, n)^3\text{He}$  反应得到的。由加速器产生的宽度为 10ns、重复频率为 2MHz、平均流强为  $3\mu\text{A}$  的脉冲质子束打

在铀靶上产生中子。中子能量主要由质子能量确定, 实验中用中子飞行时间方法作了测量。相对中子注量率用两台长中子计数器监测。

俘获  $\gamma$  探测器是一台直径为 1m 的大液体闪烁探测器, 其构造和性能可见文献[2]。实验几何安排参见文献[3]。样品俘获中子产生的  $\gamma$  辐射由该探测器测量; 分析和记录用的电子学系统包括快符合电路、飞行时间谱仪、线性门电路、S85 型多道分析器和微机。

实验为相对测量, 以金作为标准样品, 铀为待测样品。在每一个能量点上, 轮流交替地将两种样品进行中子轰击。每个样品测量约 1 小时。从测得的俘获  $\gamma$  能谱和本底谱, 减得俘获  $\gamma$  净谱, 探测器阈以下部分用外推法求得。

标准样品为圆片形, 直径 9cm, 纯度优于 99.9%, 重 118.70g。铀样品形状与金样品相同, 纯度为 99.9%。共两块, 一块重 51.83g, 另一块重 48.71g。

中子在样品中多次散射较大, 采用蒙特卡罗方法进行修正<sup>[3]</sup>。

截面计算公式如下,

$$\sigma_x = \frac{C \cdot N_s \cdot f_s \cdot \varepsilon_s}{C_s \cdot N \cdot f \cdot \varepsilon} \sigma_s$$

其中  $\sigma_s$  是标准样品金的中子俘获截面值, 取自文献[4];  $N_s, N$  分别为待测样品和标准样品单位面积上的原子数;  $C, C_s$  分别为测得的两种样品的俘获  $\gamma$  计数;  $f, f_s$  为两种样品的多次散射修正因子;  $\varepsilon, \varepsilon_s$  分别为探测器对两种样品俘获  $\gamma$  的探测效率, 经蒙特卡罗方法计算, 两种效率相差小于 2%。

### 三、理论计算

使用核反应光学模型和带有宽度涨落修正的 Hauser-Feshbach 统计理论计算了  $^{151}\text{Eu}$  和  $^{153}\text{Eu}$  在 0.1—2.0MeV 能区的中子俘获截面。理论计算中主要考虑了统计过程以及位阱俘获、复合核弹性和非弹性道中的俘获等三种非统计过程<sup>[5]</sup>。但实际计算表明, 这三种非统计过程的贡献很小。计算公式为,

$$\sigma_{n,\gamma} = \frac{\pi}{k_a^2} \sum_{ljJ\pi} \frac{2J+1}{2(2I+1)} \cdot \frac{T_{ali} \cdot T_{\gamma}^{J\pi}}{T^{J\pi}} \cdot W_{ali}^{J\pi}$$

其中  $k_a$  是入射中子波数;  $lj$  是入射波角动量;  $J$  为总角动量;  $I$  为靶核的自旋;  $T_{ali}$  是中子穿透系数;  $W_{ali}^{J\pi}$  是相应的宽度涨落因子。计算中子穿透系数  $T_{ali}$  时采用了 Becchetti-Greenless 普适光学位及普适参数。计算光子穿透系数  $T_{\gamma}^{J\pi}$  时, 采用光核反应的巨偶极共振模型, 并取  $E_g = 80/A^{1/3}$  MeV,  $\Gamma_g = 4.5$  MeV,  $\sigma_g$  按  $1.3A/500$  估计。能级密度的计算采用 Gilbert-Cameron 公式, 并根据结合能附近的能级分布及低激发的能级累加数对参数作了初步调整。在计算中又根据 0.3MeV 以下的计算结果与实验值的比较作了适当调整。

计算的  $^{151}\text{Eu}$  (丰度为 47.8%)、 $^{153}\text{Eu}$  (丰度为 52.2%) 和天然 Eu 的俘获截面见表(分别列出统计过程和非统计过程的贡献):

表 1 (截面单位:  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>; 中子能量单位: MeV)

核素		$E_n$							
		0.1	0.3	0.5	0.8	1.0	1.4	1.7	2.0
<sup>151</sup> Eu	统计	1.347	0.835	0.643	0.486	0.422	0.314	0.262	0.215
	非统计	$1.1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1.06 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.12 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$1.14 \times 10^{-4}$	$1.12 \times 10^{-4}$
<sup>153</sup> Eu	统计	1.009	0.429	0.318	0.255	0.234	0.205	0.187	0.169
	非统计	$7.4 \times 10^{-4}$	$3.7 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-4}$
Eu		1.171	0.623	0.474	0.365	0.324	0.257	0.223	0.191

## 四、结果和讨论

实验测量的 Eu 的中子俘获截面如下

表 2 (截面单位:  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>; 中子能量单位: MeV)

$E_n$	0.34	0.78	1.02	1.19	1.43	1.69
$\sigma_{n,\gamma}$	0.568	0.389	0.383	0.335	0.273	0.194
$\Delta\sigma_{n,\gamma}$	0.064	0.039	0.038	0.034	0.027	0.023

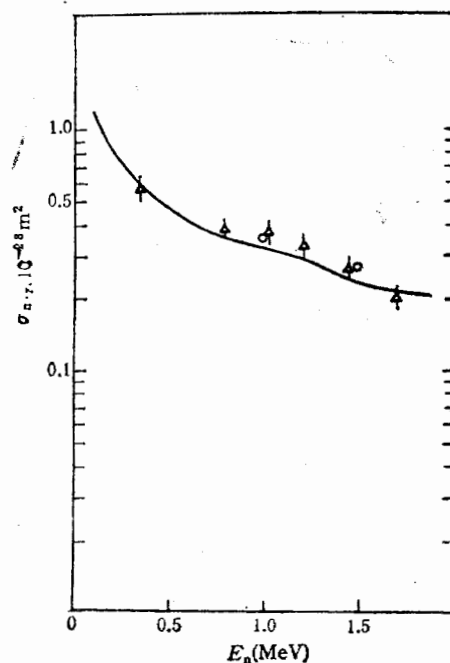


图 1 实验测量和理论计算的 Eu 的俘获截面及与他人的工作比较  
 O Poenitz(83) ▲ 本工作 — 理论计算

测量误差约为 10—12%, 它来源于外推俘获  $\gamma$  谱的误差(5—8%); 标准截面的误差(7%); 多次散射修正误差(3%); 探测效率不一致性(2%)和测量的统计误差(2—6%)。

将实验测量数据和理论计算结果画在图 1 中比较。Poenitz<sup>[1]</sup> 的数据与本工作的测量彼此相符。理论计算给出 0.1—2.0 MeV 能区的走向。

作者衷心感谢我所静电加速器室的同志对本工作的密切配合和大力支持。

### 参 考 文 献

- [1] W. P. Poenitz, ANL-83-4, (1983), 239.
- [2] 徐海珊, 核技术, 9(1986), 5.
- [3] 向正瑜, 高能物理与核物理, 1(1988), 91.
- [4] 蒋崧生, “0.1—3MeV<sup>197</sup>Au 中子俘获截面编评”, hsj-81183, (1981), (内部资料).
- [5] 刘建峰, 高能物理与核物理, 3(1983), 354.

## FAST NEUTRON CAPTURE CROSS SECTIONS OF FISSION PRODUCT NUCLIDE Eu

XIANG ZHENGYU XU HAISHAN LI YEXIANG MU YUNSHAN

WANG SHIMING

(*Institute of Nuclear Science and Technology of Sichuan University, Chengdu*)

LIU JIANFENG

(*Department of Physics, Zhengzhou University*)

### ABSTRACT

The measurements of fast neutron capture cross sections of Eu relative to Au at six neutron energies were carried out by using a large liquid scintillator detector. The neutron capture cross sections of <sup>151</sup>Eu and <sup>153</sup>Eu were calculated in the range of 0.1 to 2.0 MeV using the optical model and statistical theory. Present results are compared with other experiment and discussed.