

# 天然核素 Ta 和 In 的快中子 俘获截面测量

向正瑜 李业祥 徐海珊 牟运山 王世明

(四川大学原子核科学技术研究所,成都)

## 摘 要

本工作测量了 Ta 和 In 在 0.34—1.68MeV 能区的中子俘获截面。实验中  
使用大液体闪烁探测器测量瞬发俘获  $\gamma$  辐射,用长中子计数器监测中子通量。  
为了降低测量中的本底采用了快符合电路和飞行时间技术。截面测量为相对测  
量,以金的俘获截面作为标准。最后对结果进行了比较和讨论。

## 一、引 言

快中子俘获截面是常用的核数据,在核理论研究和核工程设计中有重要的价值。实  
验测量大多采用相对测量方法,现公认金的俘获截面是最好的标准截面,从已有的测量和  
编评数据看,其精度约为 7%<sup>[1]</sup>。

天然核素钽仅有一个同位素 <sup>181</sup>Ta。它的中子俘获截面也是中子标准截面之一,要求  
较高的测量精度,需要更多更好的实验数据。从六十年代起就开始进行测量,1978 年我  
国朱升云作了详细的编评<sup>[2]</sup>,在我们测量的能区有七家工作。此后美国 Macklin<sup>[3]</sup> 使用  
ORELA 脉冲中子飞行时间装置测量了 2.6—2900keV 能区 Ta 的中子俘获截面。1985  
年我们也测量了三个能量点的截面值<sup>[4]</sup>,后来在几次实验中又多次测量该数据。目的是  
为了检验测量系统和数据处理方法,同时也积累了一些可靠的实验数据。

In 的俘获截面值较大,且随能量的变化比较平缓,所以也作为中子标准截面。在低  
能区实验数据多,在几百 keV 以上能区数据较少,数据分歧大,见文献 [5—8] 和图 4。因  
此有必要作更多的测量和分析,澄清数据间的较大差异。

这次 Ta 和 In 的中子俘获截面测量仍采用大液体闪烁探测器和脉冲中子飞行时间  
方法。测量装置和电子学系统与文献 [9] 基本相同,但作了较大的改进。

## 二、实验测量

实验是在我所脉冲化 2.5MV 质子静电加速器上进行的。实验测量的几何安排见图

1. 由加速器产生脉冲宽度为 10ns、重复频率为 2MHz、平均束流强度为 2—4 $\mu$ A 的脉冲质子束打在氚靶上, 经 T(p, n)<sup>3</sup>He 反应产生中子, 改变质子能量就可改变入射中子能量。

使用直径为 1 m 的球形大液体闪烁探测器测量俘获  $\gamma$  射线。测量样品放在探测器中心管道内, 距氚(钍)靶约 2.6m。当入射中子打到样品上, 被原子核俘获时会瞬时发射一组级联  $\gamma$  射线, 其总能量等于中子在剩余核中的结合能加上中子动能, 约为 6—8MeV。 $\gamma$  射线进入

探测器, 引起闪烁发光, 从探测器上的光电倍增管输出脉冲信号, 用电子学系统进行测量,

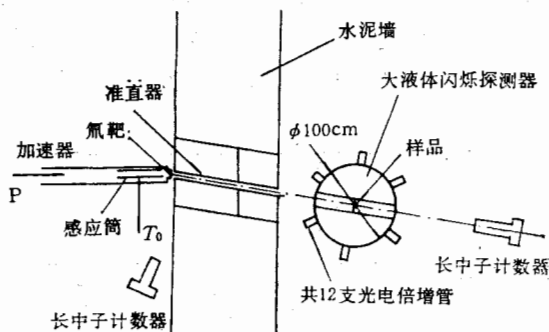


图 1 实验测量几何安排

见图 2。与前两次实验有所不同, 这里直接采用 S85 型多道分析器同时记录俘获  $\gamma$  谱和本底谱, 然后将获取数据传送到微机中存储和处理。整个电子学线路主要包含快符合电路、飞行时间谱仪和线性门电路。

为了避免绝对测量入射中子通量和刻度探测器效率, 采用相对测量法, 以金作为标准样品。中子通量用两台长中子计数器监测。

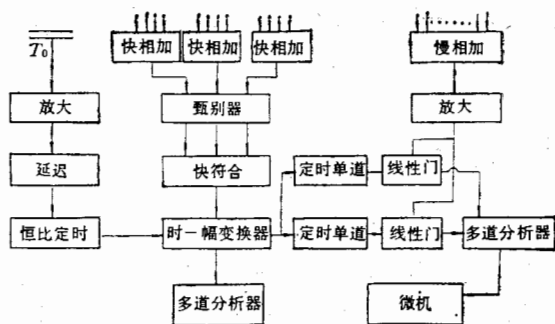


图 2 测量用的电子学线路

### 三、数据处理

每个样品在每个能量点上测量约 1 小时。从测得的俘获  $\gamma$  能谱(包括本底)和本底谱, 相减得到俘获  $\gamma$  净谱, 探测器阈以下的部分用外推办法求出, 外推时考虑了谱的走向和理论计算的谱形状, 然后求得俘获事件净计数。

中子在样品中多次散射的修正采用了蒙特卡诺方法计算, 该方法模拟中子在样品中的反应过程, 跟踪大量中子, 分别计算出直接被俘获和经过一次或多次散射后被俘获的中子数, 从而得出修正因子。

最后将上述各种数据以及入射中子通量、样品原子数、Au 的中子俘获截面值<sup>[1]</sup>等带入下面计算公式,

$$\sigma_x = \frac{C \cdot N_s \cdot f_s \cdot \epsilon_s}{C_s \cdot N \cdot f \cdot \epsilon} \sigma_s$$

其中  $\sigma_s$  是 Au 的俘获截面;  $N$ 、 $N_s$  分别为待测样品和标准样品单位面积上的原

子数;  $C$ 、 $C_1$  分别为测得的两种样品的俘获  $\gamma$  净计数;  $f$ 、 $f_1$  为两种样品的多次散射修正因子;  $\epsilon$ 、 $\epsilon_1$  为探测器探测两种样品俘获  $\gamma$  的效率。

最后得到的 Ta 和 In 的中子俘获截面以及作为标准的 Au 的截面<sup>[1]</sup>列在下表中, 表中最后一行为美国 ENDF/B-V 库的  $^{197}\text{Au}$  的中子俘获截面值<sup>[10]</sup>。

$\sigma_{n,\gamma}$ / $E_n$	0.34	0.78	1.02	1.19	1.43	1.68
核素						
Ta	194±22	122±12	113±11	98±10	92±9	75±11
In	249±30	222±22	236±24	233±24	221±24	192±23
$^{197}\text{Au}^{[1]}$	198	91	81	77	72	64
$^{197}\text{Au}^{[10]}$	186	93	82	76	72	66

注: 中子能量单位: MeV, 截面单位:  $10^{-31}\text{m}^2$ 。

测量误差约为 10—12%。误差来源于外推俘获  $\gamma$  谱的误差 (5—8%); 标准截面的误差 (7%); 多次散射修正的误差 (3%); 探测器效率不一致性 (2%) 和测量的统计误差 (2—4%)。

#### 四、结果讨论

测得的 Ta 的数据与我组 1985 年测量的三个能点的俘获截面值<sup>[4]</sup>进行了比较, 见图 3。最大相差约 5%, 证明了该测量系统较稳定、可靠, 数据处理合理。Ta 的早期实验测量参见编译报告<sup>[2]</sup>。在图 3 中我们只画出了评价曲线和 Hellström<sup>[7]</sup> 和 Diven<sup>[5]</sup> 的测量结果。另外还给出了 Macklin<sup>[3]</sup> 近期测量数据。

Diven 的工作是 1960 年用大液体闪烁探测器作的, 标准截面为  $^{235}\text{U}$  裂变截面, 测量值比我们的结果大 20—30%。经仔细分析发现, 他测量的 Au 的俘获截面比新的编评值<sup>[1]</sup>约大 20%。如果用现有的 Au 的截面归一, 那么 Diven 的数据与本测量是一致的。Hellström 的测量方法与我们采用的方法基本相同, 两家的数据在误差范围内相符。Macklin 的测量结果与我们的测量符合更好。另外朱升云的编评曲线在 0.3—1.0 MeV 能段显然比近期测量的实验数据高一些。估计原因是他没有用 Au 的截面归一处理 Diven<sup>[5]</sup> 的数据, 当然那时还没有 Macklin 等的新结果。

关于 In 的数据, 几家测量结果分歧较大, 见图 4。Diven<sup>[5]</sup> 的数据如果也用 Au 的截面归一, 那么与我们的测量基本符合。Hellström<sup>[7]</sup> 测量的 In 的数据比我们的测量和其它几家测量高出很多, 他测量的 Ag 的结果也有类似情形, 估计有系统误差存在。Grady<sup>[6]</sup> 的数据实际上是  $^{115}\text{In}$  的中子俘获截面, 是用活化法绝对测量的。 $^{115}\text{In}$  的丰度为 95.72%,  $^{113}\text{In}$  的丰度为 4.28%。该数据较我们的小一点, 但在误差范围内基本一致。我们的数据与 Poenitz<sup>[8]</sup> 的结果符合较好。

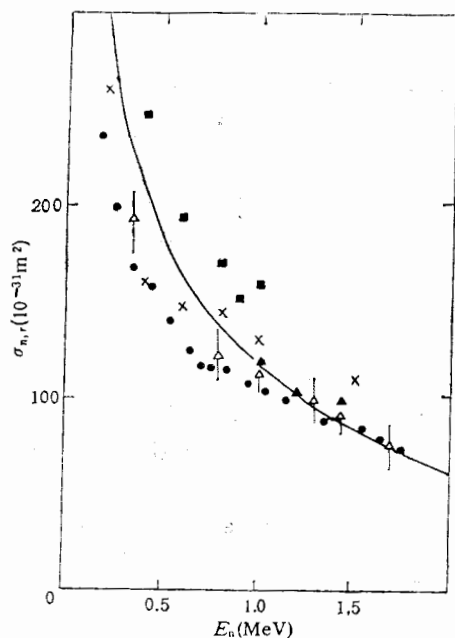


图 3 测得的 Ta 的俘获截面及与他人工作的比较

- 朱升云(78)
- Macklin (84)
- ▲ 徐海珊(85)
- × Hellström (73)
- Diven (60)
- △ 本工作

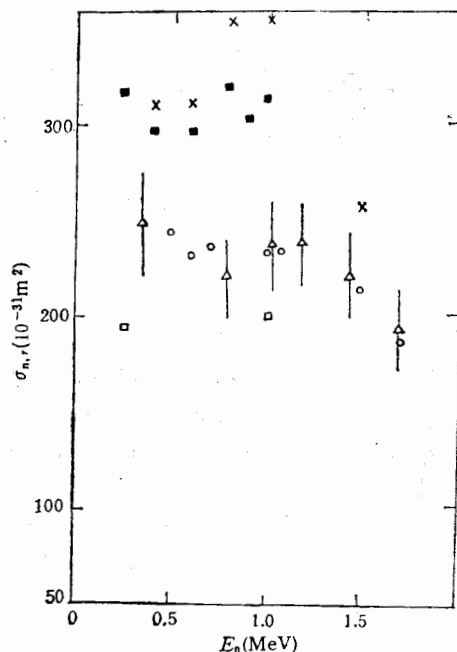


图 4 测得的 In 的俘获截面及与他人工作的比较

- Diven (60)
- × Hellström (73)
- Grady (83)
- Poenitz (83)
- △ 本工作

作者衷心感谢我所静电加速器室的同志对本工作的帮助和支持。

### 参 考 文 献

- [1] 蒋崧生, "0.1-3MeV  $^{197}\text{Au}$  中子俘获截面编评", hsj-81183(bp), (1982).
- [2] 朱升云 " $^{181}\text{Ta}$  中子辐射俘获截面实验数据编评", hsj-77145(bp), (1978).
- [3] R. L. Macklin, *Nucl. Sci., Eng.*, **86**(1984), 362.
- [4] 徐海珊等, *原子核物理*, **2**(1987), 127.
- [5] B. C. Diven, *Phys. Rev.*, **120**(1960), 556.
- [6] D. J. Grady, ANL-83-4, (1983), 179.
- [7] J. Hellström, *J. Nucl. Energy*, **27**(1973), 71.
- [8] W. P. Poenitz, ANL-83-4, (1983), 239.
- [9] 向正瑜等, *高能物理与核物理*, **1**(1988), 91.
- [10] S. F. Mughabghab, Evaluation of the Capture Cross Section of  $^{197}\text{Au}$ , BNL-NCS-21774, (1976).

## MEASUREMENT OF THE FAST NEUTRON CAPTURE CROSS SECTIONS OF NATURAL NUCLEI Ta AND In

XIANG ZHENGYU LI YEXIANG XU HAISHAN MU YUNSHAN WANG SHIMING

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

### ABSTRACT

The neutron capture cross sections of Ta and In were measured in the energy range from 0.34 to 1.68 MeV. A large liquid scintillator detector was used for detecting the prompt capture  $\gamma$  radiation. Two long-counters were used for monitoring the neutron flux. In order to reduce background the fast coincidence between the two half-spheres of the detector and the time-of-flight technique were used. The capture cross sections of Ta and In were determined relative to the standard cross section of Au. Present results were compared with others and discussed.