

# 钨和钷在 560—1610 keV 能区的中子俘获截面测量

向正瑜 牟运山 李业祥 王世明 徐海珊  
(四川大学原子核科学技术研究所,成都)

## 摘 要

本工作是在 2.5MV 脉冲化质子静电加速器上,使用大液体闪烁探测器和飞行时间法,相对于金的俘获截面测量了钨和钷六个能量点的中子俘获截面。结果与他人近期的测量符合较好。

## 一、引 言

天然钨是多种反应堆,特别是快堆的良好结构材料,因此钨的( $n, \gamma$ )截面是研究和设计核反应堆时所需的重要核参数之一。在这一能区,进行实验测量工作的有七家。1971年以前有四家,其测量能区小于 1MeV,彼此分歧很大。1978年我国石侠民详细地评价了这些工作,在编评报告<sup>[1]</sup>中给出( $n, \gamma$ )截面的推荐值。1983年美国 W. P. Poenitz 使用大液体闪烁探测器在串列静电加速器上测量了一系列元素(包括钨和钷)的( $n, \gamma$ )截面(能区为 0.5—4MeV)<sup>[2]</sup>。1983年美国 R. L. Macklin 在电子直线加速器上测量了钨的同位素  $^{182}\text{W}$ 、 $^{183}\text{W}$ 、 $^{184}\text{W}$  和  $^{186}\text{W}$  的( $n, \gamma$ )截面<sup>[3]</sup>。能量范围为 2.6—2000 keV,俘获  $\gamma$  射线用  $\text{C}_6\text{F}_6$  液体闪烁体探测,最后还给出天然钨的( $n, \gamma$ )截面值。此外,1981年法国 J. Voignier 在 4MV 脉冲化静电加速器上,使用 NaI 谱仪测量了钨和钷等元素的( $n, \gamma$ )截面<sup>[4]</sup>。上述的编评和测量结果均标在图 3 上。可见新近的测量数据普遍高于文献 [1] 的推荐值约 30—100%,而彼此偏离约 10—20%,因此,再次测量钨的( $n, \gamma$ )截面是有意义的。

钷是稀土元素,在核工业中用途很广泛,其( $n, \gamma$ )截面是重要的核参数。在这一能区,仅有两家实验测量工作,即前面提到的 [2] 和 [4] 的工作。所以有必要作更多的测量。

本工作是在 2.5MV 脉冲化质子静电加速器上,使用大液体闪烁探测器测量天然钨和天然钷的( $n, \gamma$ )截面。此种探测器探测效率高,并且可用快符合方法和中子飞行时间技术降低测量中的本底。这是继“ $^{169}\text{Tm}$  和  $^{181}\text{Ta}$  的快中子辐射俘获截面测量”<sup>[5]</sup>后的又一次工作。这次测量了能区为 560—1610keV 的六个能量点的截面值;还对电子学线路、数据

本文 1986 年 7 月 28 日收到。

卷  
00  
39  
36  
34  
30  
26

IR

e co-  
) mm<sup>2</sup>  
com-

获取系统作了较大的改进；用蒙特卡罗方法对中子在样品中多次散射所产生的俘获作了修正。

## 二、实验装置及测量方法

### 1. 实验装置和测量样品

实验测量装置如图 1 所示，左边部分是脉冲质子静电加速器的束流管道，其内有一

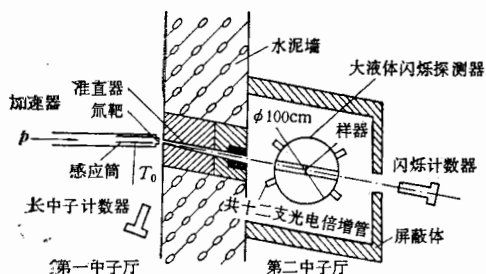


图 1 实验测量装置

感应筒，从这里引出表征产生中子的  $T_0$  信号，管道底端是氟靶。加速器提供的脉冲质子束打在氟靶上，由  $T(p, n)^3\text{He}$  反应产生中子。改变入射质子能量就可改变中子能量，确定中子能量除参考质子能量外，另使用了一小液闪探测器，将它放在大液闪探测器后面，对准中子束方向，用测量中子飞行时间的方法求出中子能量。中子通量用长中子计数器监测。

图 1 的右边部分是直径为 1M、形状近于球形的大液体闪烁探测器，其构造和性能在文献 [6] 中已有详细介绍。探测器放在一特制的小车上，可上下移动，也可作小范围内的转动。为了便于检修和安装，整个小车和探测器可沿轨道推出屏蔽室外。探测器中心管道直径为 20 cm，内装一电动样品交换器，每次送一个样品进入探测器中心，让另一样品挂在探测器外，不会挡住中子束。屏蔽室由 10 cm 厚的铅墙构成，其四周堆放约 40 cm 厚的石蜡块。

装置的中间部分是中子束准直系统，它是由 100 cm 厚的含锂石蜡和 40 cm 厚的铜、铅等材料加工制成，并与 1.4M 厚的水泥墙联成整体。准直器中心线与质子束方向成  $10^\circ$  的夹角。

测量样品共有四种，形状为圆片，直径 9 cm，样品纯度均为 99.9%。各个样品的重量如下：

- (1) 金 ( $^{197}\text{Au}$ )，118.70g
- (2) 钽 ( $^{181}\text{Ta}$ )，109.40g
- (3) 天然钨 (W)，51.98g 和 127.53g 两种。
- (4) 氧化钆 ( $\text{Gd}_2\text{O}_3$ )，49.33g、99.49g 和 148.82g 三种。

### 2. 测量用的电子学线路

大液体闪烁探测器上有十二支光电倍增管，由此观测  $\gamma$  射线引起的闪烁发光。从每一支光电倍增管上输出一线性信号和一阳极信号。将十二个线性信号相加、放大，通过线性门和模-数变换器后送入计算机（参见图 2）。线性门一共两个，由定时单道来的信号选通。

十  
符合器。  
法，极大  
由行  
放大、  
再经多  
飞行到  
定时单  
获事件  
线性门。  
了测量

### 3. 测

本  
上，轮  
获中子  
俘获  $\gamma$

其  
上的原  
修正因  
在  
小于 2%  
得到的。

本  
keV。  
统和数  
俘获截  
中  
实验几  
吸收或  
得出修  
检验理  
面的测

俘获作了

十二个阳极信号分为三组相加,相加后得到的三个快信号通过一快甄别器,然后到快符合器。由于在线路中使用了符合方法,极大地提高了信号本底比。

由符合器输出的信号和  $T_0$  信号(先放大、甄别)一齐送入时间幅度变换器,再经多道分析器测量出相当于中子从靶飞行到样品处的飞行时间谱。使用两台定时单道,从飞行时间谱中选出中子俘获事件和本底事件,去打开上述的两个线性门。采用中子飞行时间技术,降低了测量中的本底。

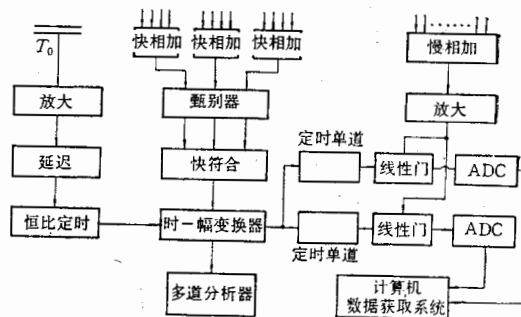


图 2 测量用的电子学线路

### 3. 测量方法

本工作采用相对测量法。选金作为标准样品,钨和钆为待测样品。在每一个能量点上,轮流交替地将标准样品和待测样品送入探测器中心,让中子束轰击样品,当样品俘获中子时,瞬时发射一组  $\gamma$  射线,被大液闪探测器探测、电子学测量系统记录。从测得的俘获  $\gamma$  谱和其它已知条件,由下列公式可算出待测样品的中子俘获截面

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

其中  $\sigma_s$  是标准样品的中子俘获截面值;  $N$ 、 $N_s$  分别为待测样品和标准样品单位面积上的原子数;  $C$ 、 $C_s$  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产生的俘获  $\gamma$  的探测效率。

在假设探测器阈能为零的条件下,我们用蒙特卡罗方法计算探测效率  $\varepsilon$ 、 $\varepsilon_s$ , 其差别小于 2%。实验中选择探测器阈为 1.6 MeV, 阈以下部分是从测得的俘获  $\gamma$  谱平滑外推得到的。

## 三、测量结果和讨论

本工作测量了天然钨和钆在六个能量点上的中子俘获截面,覆盖能区为 560—1610 keV。在每一能量点,交替地进行了待测样品和标准样品的测量。为了检验整个实验系统和数据处理的可靠性,还测量了可作为标准样品的钽的俘获截面。计算中使用的金的俘获截面值取自文献 [7]。

中子在样品中多次散射的修正是采用蒙特卡罗方法计算的。该方法按照实验装置和实验几何条件,完全模拟中子在样品中的反应过程,跟踪约一万个中子,直到它们被样品吸收或逃出系统。分别计算出直接被俘获和经过一次或多次散射被俘获的中子数,从而得出修正因子。计算中需要输入弹性散射、非弹散射和俘获截面数据。为了用实验方法检验理论计算,在某些能量点上,对钨和钆使用了两种和三种不同厚度的样品作了俘获截面的测量。

其内有一  
内  $T_0$  信  
共的脉冲  
平均束流  
氟靶上,  
变入射质  
子能量除  
探测器,  
中子束方  
出中子能

和性能在  
范围内的  
器中心管  
另一样品  
40 cm 厚

厚的铜、  
向成  $10^\circ$

品的重量

6. 从每  
c, 通过线  
的信号选

测量的误差来源主要有五项: 1. 外推俘获 $\gamma$ 谱产生的误差为8%; 2. 标准截面的误差为7%; 3. 修正的误差为2%; 4. 统计误差为2—5%; 5. 探测效率不一致性为2%. 总的误差约为12%.

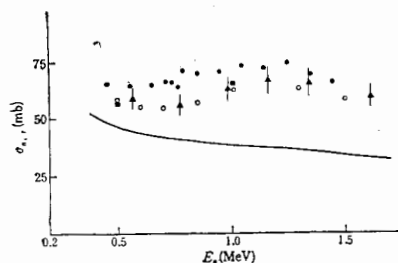


图3 测量的钨的俘获截面及与他人工作的比较  
▲本工作, ○ Poenitz(83), —石侠民(78),  
■ Voignier(81), ● Macklin(83).

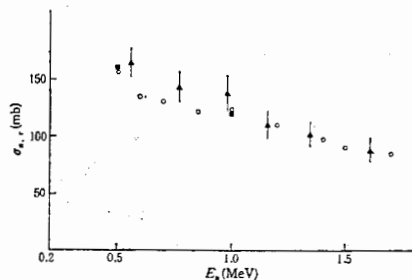


图4 测量的钆的俘获截面及与他人工作的比较  
▲本工作, ○ Poenitz(83), ■ Voignier(81)

测量结果和与他人工作的比较参见图3和图4. 本工作测量的钨的( $n, \gamma$ )截面值较Macklin的结果普遍低10%左右,与Poenitz和Voignier的结果符合较好. 看来文献[1]的编评结果是偏低,这是因为当时在大于1MeV能区缺少实验数据. 本工作测量的钆的( $n, \gamma$ )截面值,在小于1MeV的三个能量点处较文献[2]、[4]约高,而另外三个能量点的数据彼此符合较好.

作者衷心感谢静电加速器室的同志对本工作的支持和帮助.

### 参 考 文 献

- [1] 石侠民,“天然钨中子辐射俘获截面编评”, hsj-77102 (bp), (1978).
- [2] W. P. Poenitz, ANL-83-4, (1983), 239.
- [3] R. L. Macklin, Nucl. Sci. Eng., 84(1981), 98.
- [4] J. Voignier, CEA-R5089, (1981).
- [5] 徐海珊,原子核物理, 2(1987), 39.
- [6] 徐海珊,核技术, 9(1986), 5.
- [7] 蒋崧生,“0.1-3MeV<sub>19</sub>Au中子俘获截面编评”, hsj-81183, (1981).

## MEASUREMENTS OF NEUTRON CAPTURE CROSS SECTIONS OF WOLFRAM AND GADOLINIUM BETWEEN 560 AND 1610 keV

XIANG ZHENG-YU MU YUN-SHAN LI YE-XIANG WANG SHI-MING XU HAI-SHAN

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

### ABSTRACT

Neutron capture cross sections of W and Gd were measured relative to that of Au at six neutron energy values by using a large liquid scintillator tank and time-of-flight technique. The accelerator used was a 2.5 MV pulsed van de Graff. The present results agree well with other recent measurements.

下  
结  
转  
联

近  
时,它们  
观测到  
联在高  
Valatin  
是P.]  
明原子  
值决不  
隙,而在  
难从能  
现了对  
质子对  
的.事  
化极为  
然大于  
关  
中,用

\* 高材  
本文