

## 14.2MeV 中子在锆上弹性 散射的微分截面

万代蓉 曹建华 代运生 梁学才 安竹

(四川大学原子核科学技术研究所,成都 610064)

### 摘 要

用伴随粒子飞行时间方法,在  $10^\circ$ — $140^\circ$  范围内测量了 14.2 MeV 中子在 Zr 上的弹性散射微分截面。用蒙特卡洛方法对中子在样品中的通量衰减,多次散射及有限角分辨进行了修正;并将测量数据与光学模型理论计算及他人的结果作了比较。

### 一、引 言

在快中子与物质相互作用时,弹性散射是重要的物理过程,而精确的弹性散射截面是核工程设计的重要核参数。由于它的重要性,国际上弹性散射测量工作比较多,近年来还在不断改进测量方法,继续进行着这方面的工作。例如 Ohio 大学在 TOF 谱仪上用了一个束流扫描磁铁,并在屏蔽、准直、探测器设计等方面作了改进<sup>[1,2]</sup>。利用这套装置,在  $4^\circ$ — $160^\circ$  角范围内做了大量工作。本次实验为了改善能量分辨,适当增加了飞行距离;同时为了保证有足够的中子计数,设计制做了  $\phi 220 \times 100$ ST-451 大液体闪烁探测器,在不影响 n- $\gamma$  分辨的情况下,提高了探测效率。

Zr 是核反应堆重要结构材料。截至 1988 年国际上对锆的弹性散射测量,多集中在 0.3—1.5MeV 和 1.5—7MeV 能区。高能区数据较少,14MeV 能区只有一家数据<sup>[3]</sup>,角度范围是  $20^\circ$ — $110^\circ$ ,且角区间隔不均匀。因此,继续测量 14MeV 中子在锆上弹性散射的角分布,补充空缺数据是必要而有意义的。

### 二、实验方法

实验几何安排及电子学线路见图 1、2。

实验是在四川大学原子核科学技术研究所的高压倍加器上完成的。飞行时间谱仪已在文献[4]中详细叙述,这里着重介绍本实验与以往实验的不同之处。自高压倍加器引出的 200keV 氖束轰击氖钛靶,利用  $T(d,n)^4He$  反应产生中子。“伴随”产生的  $\alpha$  粒子,用

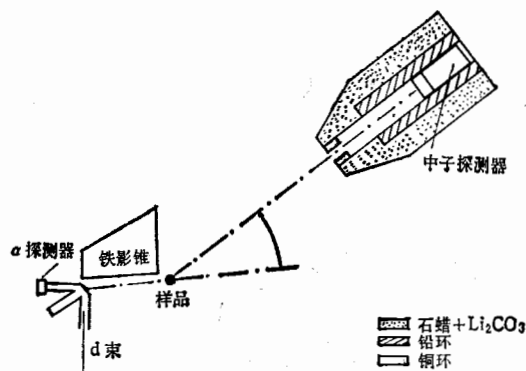


图1 屏蔽探测器几何安排

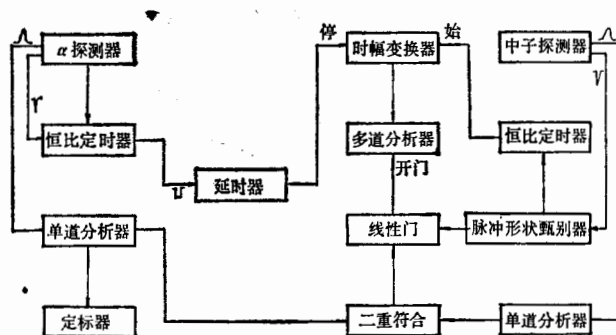


图2 电子学线路方块图

厚  $50\mu\text{m}$ 、耦合在 56 AVP 光电倍增管上的塑料闪烁体来探测。该探测器位于相对氘束  $90^\circ$  方向上,关联中子束在相对氘束  $84^\circ$  方向上,平均中子能量为  $14.2\text{MeV}$ 。散射中子采用直径  $220\text{mm}$ 、厚  $100\text{mm}$  的 ST-451 液体闪烁体探测。该闪烁体通过一个  $100\text{mm}$  厚的锥体有机玻璃光导,耦合在 XP-2041 光电倍增管上,组成中子探测器。光导中间有  $1\text{cm}$  宽未涂反射层,其余部分表面涂上反射层,这样就使得探测器在不同位置上,对入射中子束有均匀的光响应。中子探测器的阈为  $7\text{MeV}$ ,时间分辨为  $1.74\text{ns}$ ;飞行距离为  $290\text{cm}$ ,能量分辨为  $6.33\%$ 。样品是直径  $4\text{cm}$ 、长  $3\text{cm}$  的圆柱体。它距靶中心为  $38.5\text{cm}$ 、距探测器中心为  $290\text{cm}$ 。利用屏蔽体降低大厅偶然本底,铁影锥挡住直接中子束,如图 1 所示。利用图 2 中脉冲形状甄别器,消除飞行时间谱与时间相关的  $\gamma$  本底。以  $4 \times 10^4/s$   $\alpha$  计数为通量监视,交替进行样品和本底测量。以关联中子束的轴心为  $0^\circ$  散射角,在  $10^\circ-140^\circ$  角范围内,相隔  $5^\circ-10^\circ$ ,共测了 23 个角度,所有数据按  $\alpha$  计数归一。在上述相同  $\alpha$  计数率下,测量了  $0^\circ$  角无样品时关联中子计数,作为入射中子通量。

### 三、数据处理和结果

在本实验中采用了样品包束的方法,弹性散射微分截面,按下式计算:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \frac{N(\theta)}{M(\theta)} \cdot \frac{M(0)}{N(0)} \cdot \frac{\varepsilon(0)}{\varepsilon(\theta)} \cdot \frac{L^2}{Ah\eta}$$

式中  $N(\theta)$  是  $\theta$  角弹性散射净计数,  $N(0)$  是  $0^\circ$  角无样品时的中子计数,  $M(\theta)$ 、 $M(0)$  分别为测量  $N(\theta)$ 、 $N(0)$  时相应的  $\alpha$  伴随粒子总计数,  $\varepsilon(\theta)$  是  $\theta$  角弹性散射中子探测效率,  $\varepsilon(0)$  是  $0^\circ$  角初级中子探测效率,  $L$  是样品中心到探测器中心距离,  $A$  是探测器总面积,  $h$  是样品有效厚度,  $\eta$  是单位体积样品有效核数。由于弹性散射的中子能量与入射中子能量相近, 取  $\varepsilon(0)/\varepsilon(\theta) \approx 1$ , 按初级中子谱形状, 对弹性散射中子谱进行了修正, 扣除非弹中子的贡献; 同时用蒙特卡洛方法, 对入射中子在样品中多次散射、通量衰减及有限角分辨做了修正; 各种修正误差为 4%, 总误差为 8.8%。当入射中子能量大于二次过程的阈能时, 则复合核弹性散射截面很小, 即弹性散射截面几乎接近光学模型计算的势散射截面。因此, 我们对中子用光学势参数(取自文献[5])作了理论计算, 并把测量的角分布数据全部转换到质心系进行比较(见图 3)。截面值列于附表。

由图可见, 我们的结果在误差范围内与理论曲线走向符合很好; 在  $20^\circ$ — $110^\circ$  范围内与文献[3]数据符合; 在  $10^\circ$ — $20^\circ$  和  $110^\circ$ — $140^\circ$  角范围内, 在 5 个角度上填补了空缺数据。为核工程设计提供了可靠参数。

作者感谢 400kV 高压倍加器组全体同志的密切协作。

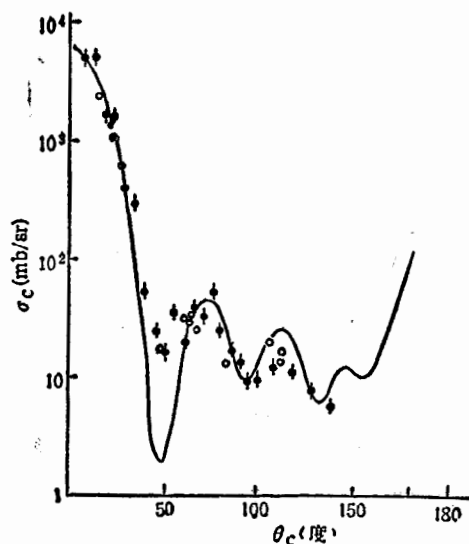


图 3 14 MeV 中子在 Zr 核上弹性散射角分布  
 † 本工作测量值, ○ Clarke<sup>[3]</sup>, ~ 本工作理论计算曲线

表 1 14.2 MeV 中子在 Zr 上的微分截面值

$\theta_{cm}$ (deg)	$d\sigma/d\Omega$ (mb/sr)	总误差 (%)	$\theta_{cm}$ (deg)	$d\sigma/d\Omega$ (mb/sr)	总误差 (%)
10.0	5422.6	1.63	71.09	33.63	7.02
15.16	5520.1	1.98	76.11	54.43	7.91
20.72	1752	1.90	79.12	25.87	9.19
25.27	1748.5	2.29	86.63	17.43	9.68
30.31	427.28	2.90	90.63	14.28	9.49
35.36	315.75	3.82	95.63	9.04	10.97
39.65	55.64	4.39	101.12	9.84	12.96
45.44	26.05	7.81	110.59	12.57	11.17
50.48	17.14	8.99	120.54	11.82	11.77
55.51	35.53	7.91	130.48	8.23	14.15
60.54	20.10	7.81	140.40	6.09	16.25
65.57	40.60	6.53			

## 参 考 文 献

- [1] R.W. Finlay, *Nucl Instrum Methods*, **198**(1982), 197.
- [2] S. Mellemo, *Phys. Rev.*, **33**(1986), 481.
- [3] R. L. Clarke, *Nucl. Phys.*, **A95**(1967), 320.
- [4] 李景德, 原子核物理, **2**(1985), 105.
- [5] J. Rapaport, *Nucl. Phys.*, **A330**(1979), 15.

**Differential Elastic Scattering Cross Sections of 14.2MeV on Zr**

WAN DAIRONG   CAO JIANHUA   DAI YUNSHENG

LIANG XUECAI   AN ZHU

*(Institute of Nuclear Science and Technology Sichuan University, Chengdu 610064)*

## ABSTRACT

The differential elastic scattering cross sections of Zr for 14.2MeV neutrons are measured by the associated particle time-of-flight method at angles from  $10^\circ$  to  $140^\circ$ . The corrections for neutron flux attenuation, multiple scattering and finite geometry are performed by using Monte-Carlo method. The experimental results are compared with the available data from other work and the theoretical calculation.