

# $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$ 反应截面测量

王永昌 袁俊谦 任忠良 杨景康

(兰州大学现代物理系)

项斯苍

(新疆师范大学物理系)

## 摘 要

本文报告了在  $E_n = 13.6-14.8\text{MeV}$  中子能区用活化法以  $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$  截面为 neutron 注量标准测得的  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  的反应截面。在  $E_n$  为 13.64, 13.79, 14.00, 14.05, 14.33, 14.60 和 14.80 MeV 处的截面分别为  $17.4 \pm 1.1$ ,  $19.5 \pm 1.5$ ,  $21.9 \pm 1.9$ ,  $22.4 \pm 1.6$ ,  $25.4 \pm 1.4$ ,  $26.1 \pm 1.1$  和  $26.0 \pm 1.1\text{mb}$ 。在文章中还列举了所能收集到的一些作者的数据以作比较。中子能量是用铍铊截面比法测定的。

## 一、序 言

镍是用于建造聚变反应堆不可缺少的合金成分,它的同位素  $^{62}\text{Ni}$  在  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  反应中所产生的  $\alpha$  粒子,对钢材会有严重的损伤,直接影响其机械强度,并关系到 D-T 聚变反应堆的安全运转。所以研究  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  反应对现行反应堆和将来聚变反应堆的设计和建造都是有用的。在 14 MeV 中子能区有少数人<sup>[1-3]</sup> 只测量了个别能量点的  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  的反应截面,但数据分散较大,看不出截面随能量的变化取向。这是因为  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  反应中产生的  $^{59}\text{Fe}$  的半衰期不很短,天然样品中的  $^{62}\text{Ni}$  同位素丰度小 (3.59%),  $^{59}\text{Fe}$  的活度小。在弱中子源的情况下,为了产生可测的活性,只有对所测样品进行长时间中子照射,或者采用大质量样品,或者长时间进行  $\gamma$  活性测量,因而精确度很低。本实验是在  $3 \times 10^{12}$  中子/秒强中子源上活化小质量样品,测量了  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  反应截面,力求提高测量的精度,并和所能收集到的文献中的数据进行比较。

## 二、实验过程

### 1. 样品照射

实验工作是在兰州大学 ZF-300-II 强流中子发生器上进行的,以  $\text{T}(d,n)^4\text{He}$  反应作中子源,平均氘束能量  $\bar{E}_d = 125\text{keV}$ , 束流强度  $I_d \approx 20\text{mA}$ , 氘-钛靶厚度约为

0.9mg/cm<sup>2</sup>,中子产额变化用铀裂变室监督,中子产额为(1—3)×10<sup>12</sup>中子/秒.在与入射氦束方向成0°—130°之间放置样品,照射时间为6小时.以<sup>27</sup>Al(n,α)<sup>24</sup>Na反应截面作为标准测量了<sup>62</sup>Ni(n,α)<sup>59</sup>Fe的反应截面.镍和铝均用天然样品,其直径均为20mm的圆片,厚度分别为0.4—1.5mm和0.1mm, Ni和Al样品的纯度分别为99.99%和99.999%,每组样品的镍片分别夹在两铝片之间.把七组样品安置在距中子源中心为10cm—28cm的七个中子能量处.这七处的中子能量用铀箔截面比的方法<sup>[9,10]</sup>测定,它们分别为13.64, 13.79, 14.00, 14.05, 14.33, 14.60和14.80MeV.

## 2. γ放射性测量

<sup>59</sup>Fe和<sup>24</sup>Na的γ放射性用国产CH8403同轴高纯锗γ探测器测量,其相对效率为20%,能量分辨率为3keV(1.33MeV).对探测器的γ探测效率进行了精确刻度.首先把美国国家标准局生产的SRM4275(*Standard Reference Material 4275*)型标准点源放在距高纯锗晶体20cm处进行该处的绝对探测效率刻度,得出绝对刻度曲线.由于在实际测量时,样品是放在距晶体2cm处,所以用一组单能源分别先后放在20cm和2cm处测量出这两个位置处各条γ射线的效率比,然后从这些不同能量的效率比和上述20cm的绝对效率刻度曲线,计算得2cm处的绝对效率刻度曲线.标准源的误差小于1%,估计我们在2cm处所定的效率误差小于1.5%.实验中所测的<sup>27</sup>Al(n,α)<sup>24</sup>Na和<sup>62</sup>Ni(n,α)<sup>59</sup>Fe的两个反应道的靶核丰度分别是100%、3.59%,剩余核的半衰期分别是14.659小时和44.496天,γ射线能量1368.598keV和1291.596keV的γ强度分别是100%和43.2%.这些数据取自文献[11]中.在计算γ放射性活度时,对中子注量波动,γ射线在样品中的自吸收,级联γ符合效应及测量几何等进行了校正.

## 三、实验结果

截面的计算公式如下:

$$\sigma_{\text{Ni}} = \frac{[\varepsilon I_{\gamma} \eta K S M D]_{\text{Al}} \cdot [\lambda A F C]_{\text{Ni}}}{[\varepsilon I_{\gamma} \eta K S M D]_{\text{Ni}} \cdot [\lambda A F C]_{\text{Al}}} \cdot \sigma_{\text{Al}}$$

其中ε为所测的特征γ射线全能峰效率;I<sub>γ</sub>为特征γ射线的强度;η为所测核素的丰度;S=1-e<sup>-λT</sup>表示剩余核的生长因子;λ为衰变常数,T是全部中子照射时间;M为样品质量;D=e<sup>-λt<sub>1</sub></sup>-e<sup>-λt<sub>2</sub></sup>为测量收集因子;t<sub>1</sub>和t<sub>2</sub>分别表示从停止照射到开始测量和到测量结束的时间间隔;A是样品元素的原子量;C是实测的全能峰面积;F是总γ活度校正因子,铝的为1.012,镍的为1.060—1.078,其中主要包括γ射线在样品中的自吸收校正,级联γ符合效应校正,<sup>24</sup>Na为1.009,<sup>59</sup>Fe为1.000和几何校正等;K为中子注量波动校正因子,Al为1.233,Ni为1.002,其表达式为:

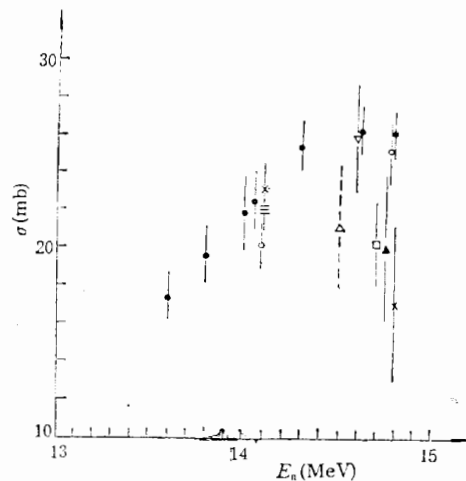
$$K = \left[ \sum_{i=1}^l \phi_i (1 - e^{-\lambda \Delta t_i}) e^{-\lambda T_i} \right] / \Phi S$$

其中l是将照射时间分成的段数;Δt<sub>i</sub>为每段的时间间隔;T<sub>i</sub>为第i段时间结束到照射结束的时间间隔;φ<sub>i</sub>为在Δt<sub>i</sub>内入射到样品上的平均中子通量,Φ为在T时间内入射到样

表 1 测量的  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  截面

中子能量 (MeV)	$13.64 \pm 0.05$	$13.79 \pm 0.06$	$14.00 \pm 0.07$	$14.05 \pm 0.07$	$14.33 \pm 0.09$	$14.60 \pm 0.11$	$14.80 \pm 0.11$
参考截面 (mb)	$125.6 \pm 4.0$	$122.7 \pm 1.7$	$122.2 \pm 1.7$	$122.1 \pm 1.7$	$119.1 \pm 1.7$	$114.2 \pm 1.6$	$112.3 \pm 1.3$
截面 (mb)	$17.4 \pm 1.1$	$19.5 \pm 1.5$	$21.9 \pm 1.9$	$22.4 \pm 1.6$	$25.4 \pm 1.4$	$26.1 \pm 1.1$	$26.0 \pm 1.1$

品上的平均中子通量.表 1 是本文所测量的  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  的反应截面数据.  $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$  反应截面数据是取自文献 [12]. 实验误差主要来自标准截面误差 1.5—3%, 统计误差 0.6—7.8%,  $r$  相对效率误差 0.7%, 称重误差 0.15%, 自吸收校正误差 1%, 级联符合误差 1%, 用铈钴截面比法确定中子能量的误差 0.4% 以及波动因子误差 5% 等. 图 1 上绘出

图 1  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  反应截面测量

● 本文; ≡ Yu-Wen-Yu and D. G. Gardner (1967); × V. N. Levkoskii. (1969)  
 ※ H. Weigel (1975); □ E. W. Lees (1979); ▽ Katsuya Fukuda (1982); ▲ S.  
 M. Qaim (1984); △ Yasuyki Kikuch, and Nobuo Sekine (1985); ○ Li Tingyan,  
 (1989)

了本文和已收集到的其他人的数据.从图可知,在 13.64—14.80 MeV 中子能区,本文所测的  $^{62}\text{Ni}(n,\alpha)^{59}\text{Fe}$  的反应截面数据随中子能量的增加而增加,趋向是明显的,在个别能量点,本实验的数据和文献[1,3,5,8]的数据在误差范围内是一致的.  $^{59}\text{Fe}$  有两条特征  $\gamma$  射线,1099 和 1291 keV,本文在测定  $^{59}\text{Fe}$  的活度时采用 1291 keV 而未采用 1099 keV 是为避免 1099 keV 的级联加合效应校正所产生的误差.

我校强流中子器研究组的同志为本实验提供了可靠的中子流,原子能研究院的卢涵林同志对本文提出了宝贵意见,对他们表示衷心地感谢.

## 参 考 文 献

[1] Yu-Wen-Yu and D. G. Gardner, *Nucl. Phys. A*98(1967), 451.

- [ 2 ] V. N. Levkoskii, *Sov. J. Nucl. Phys.*, **3**(1969), 4.  
 [ 3 ] H. Weigel et al., *Radiochimica*, **22**(1975), 11.  
 [ 4 ] E. W. Lees, AERE-R 9390, 6, (1979).  
 [ 5 ] Katsuya Fukuda et al., *Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ.*, **60**(1982), 208.  
 [ 6 ] S. M. Qaim et al., *Nucl. Sci. and Eng.*, **88**(1984), 143.  
 [ 7 ] Yasuyki Kikuch and Nobuo Sekine, *J. Nucl. Sci. and Tech.*, **22**(1985), 337.  
 [ 8 ] Li Tingyan, Private Communication, (1989).  
 [ 9 ] V. E. Lewis and K. J. Zieba, *Nucl. Instr. and Meth.*, **174**(1980), 141.  
 [10] V. E. Lewis, *Metrologia*, **20**(1984), 49.  
 [11] E. Browne and R. B. Firestone, Table of Radioactive Isotopes, (1986).  
 [12] S. Tägegen and H. Vonach, Nuclear Data Standards for Nuclear Measurements Technical Reports Series No.227 P-6 IAEA Vienna, (1983).

## THE CROSS SECTION MEASUREMENT FOR THE $^{62}\text{Ni}$ $(n, \alpha)^{59}\text{Fe}$ REACTION

WANG YONGCHANG YUAN JUNQIAN

REN ZHONGLIANG YANG JINGKANG

(Department of Modern Physics, Lanzhou University)

XIANG SICANG

(Department of Physics, Xingjiang Normal University)

### ABSTRACT

The cross sections for  $^{62}\text{Ni}(n, \alpha)^{59}\text{Fe}$  have been measured by using the activation method relative to the cross sections of  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  in the neutron energy range of 13.6—14.8 MeV. The values of  $17.4 \pm 1.1$ ,  $19.5 \pm 1.5$ ,  $21.9 \pm 1.9$ ,  $22.4 \pm 1.6$ ,  $25.4 \pm 1.4$ ,  $26.1 \pm 1.1$ , and  $26.0 \pm 1.1$  mb were obtained at the 13.64, 13.79, 14.00, 14.05, 14.33, 14.60, and 14.80 MeV neutron energies, respectively. The results are compared with the published and to be published data. The neutron energies were determined by the method of cross section ratios for the reactions  $^{91}\text{Zr}(n, 2n)^{89m+s}\text{Zr}$  by  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$ .