

# 几个 $(n,d^*)$ , $(n,t)$ 和 $(n,n'\alpha)$ 反应截面的测量

王永昌 杨景康 袁俊谦 孔祥忠

(兰州大学现代物理系, 730001)

## 摘 要

本文报告了  $E_n \sim 14$  MeV 中子以  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  或  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  反应截面为中子注量标准测得的  $^{92}\text{Mo}(n, d^*)^{91m}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Cd}(n, d^*)^{105}\text{Ag}$ ;  $^{54}\text{Fe}(n, t)^{52m+g}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Ni}(n, t)^{56}\text{Co}$ ;  $^{51}\text{V}(n, n'\alpha)^{47}\text{Sc}$  和  $^{92}\text{Mo}(n, n'\alpha)^{88}\text{Zr}$  的反应截面. 文中还列举了能收集到的数据以作比较, 中子能量是用铍铯截面比法测定的.

## 一、引 言

以前人们认为在  $E_n < 15$  MeV 中子能区, 除质量最轻的核外, 一般  $(n, d^*)$ 、 $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面比  $(n, p)$ 、 $(n, \alpha)$  和  $(n, 2n)$  这些反应截面小得多, 对于去弹性截面的贡献不大, 不予重视. 另外, 由于这些截面在本底放射性和干扰反应的影响下不易测量, 有些截面测量必须附加特殊的处理技术和复杂的处理装置或用高浓缩度的分离同位素做靶. 所以直到现在这些反应截面的数据还不多, 且分散很大. 这些不多的数据已为核结构和核反应机制的研究提供了有用的信息. 另外  $(n, d^*)$ 、 $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面虽小, 但在聚变反应堆 14 MeV 的强流中子通量下, 在聚变堆的第一壁, 再生区和其他装置中, 氦的浓集, 氦, 氢气体的产生和转移对于研究轻核反应和辐射损伤等是极为重要的. 研究  $(n, d^*)$ 、 $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面的方法除相对截面活化法外, 还有测量出射粒子谱, 放射化学等方法, 这些方法各有特点亦各有局限性, 人们可以根据不同的测量对象和测量要求采用不同的方法. 我们用兰州大学  $3 \times 10^{12}$  n/s 强流中子发生器照射, 在  $E_n \sim 14$  MeV 测量了  $^{92}\text{Mo}(n, d^*)^{91m}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Cd}(n, d^*)^{105}\text{Ag}$ ,  $^{54}\text{Fe}(n, t)^{52m+g}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Ni}(n, t)^{56}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{V}(n, n'\alpha)^{47}\text{Sc}$  和  $^{92}\text{Mo}(n, n'\alpha)^{88}\text{Zr}$  几个反应截面.

## 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  $T(d, n)^4\text{He}$  反应

本文 1991 年 11 月 8 日收到.

\*  $(n, d^*)$  是指  $[(n, pn) + (n, np) + (nd)]$

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-钛靶厚约为  $0.9\text{mg}/\text{cm}^2$ ,中子产额变化用铀裂变室监督,中子产额为  $\sim 3 \times 10^{12}\text{ n/s}$ .在与入射氘束方向成  $0^\circ - 140^\circ$  之间放置样品,以  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  或  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92\text{m}}\text{Nb}$  反应截面作为标准测量  $^{92}\text{Mo}(n, d^*)^{91\text{m}}\text{Nb}$ ,  $^{106}\text{Cd}(n, d^*)^{105}\text{Ag}$ ;  $^{54}\text{Fe}(n, t)^{52\text{m}+g}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Ni}(n, t)^{56}\text{Co}$ ;  $^{51}\text{V}(n, n'\alpha)^{47}\text{Sc}$  和  $^{92}\text{Mo}(n, n'\alpha)^{88}\text{Zr}$  的反应截面.铝、铌、镍、钼、镉、铁和钒均用天然组份金属样品,直径均为  $20\text{mm}$  的圆片,Al, Nb, Ni, Mo, Cd, Fe 和 V 样品的纯度分别为  $99.999\%$ ,  $99.9\%$ ,  $99.99\%$ ,  $99.99\%$ ,  $99.6\%$ ,  $99.95\%$  和  $99.5\%$ .钼样品片夹在两铌片之间,其余样品片分别夹在两铝片之间,样品安置在距中子源中心约  $10\text{cm}$  处,照射点的中子能量是用铌钨截面比的方法测定的<sup>[1,2]</sup>.

## 2. $\gamma$ 放射性测量

$\gamma$  放射性用国产 CH8403 同轴高纯锗  $\gamma$  探测器测量,其相对效率为  $20\%$ ,能量分辨率为  $3\text{keV}$  ( $1.33\text{MeV}$ ).对探测器的  $\gamma$  探测效率进行了精确刻度<sup>[3]</sup>.实验中所用反应道的靶核丰度,剩余核的半衰期,  $\gamma$  射线能量和  $\gamma$  强度列于表 1 中.这些数据取自文献 [4] 中.在计算  $\gamma$  放射性活度时,对中子注量波动,  $\gamma$  射线在样品中的自吸收,级联  $\gamma$  符合效应及测量几何等进行了校正.

表 1 所测反应道靶核丰度及剩余核半衰期及  $\gamma$  射线参数

靶核丰度 (%)	反应道	剩余核	$T_{1/2}$	$E_\gamma(\text{keV})$	$I_\gamma$
100	$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	$^{24}\text{Na}$	14.956h	1368.598	1.0
100	$^{93}\text{Nb}(n, 2n)$	$^{92\text{m}}\text{Nb}$	10.15d	934.53	0.99
14.84	$^{92}\text{Mo}(n, d^*)$	$^{91\text{m}}\text{Nb}$	62d	1205.0	0.04
1.25	$^{106}\text{Cd}(n, d^*)$	$^{105}\text{Ag}$	41.29d	280.52	0.31
5.8	$^{54}\text{Fe}(n, t)$	$^{52\text{m}+g}\text{Mn}$	5.591d	935.527	0.945
68.27	$^{58}\text{Ni}(n, t)$	$^{56}\text{Co}$	77.7d	1238.317	0.67
99.75	$^{51}\text{V}(n, n'\alpha)$	$^{47}\text{Sc}$	3.341d	159.381	0.68
14.84	$^{92}\text{Mo}(n, n'\alpha)$	$^{88}\text{Zr}$	83.4d	392.9	0.973

## 三、实验结果

截面的计算公式如下:

表 2 几个  $(n, d^*)$ 、 $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面数据

反 应	$E_n, \text{MeV}$	$\sigma$
$^{92}\text{Mo}(n, d^*)^{91\text{m}}\text{Nb}$	$14.7 \pm 0.2$	$64 \pm 6\text{mb}$
$^{106}\text{Cd}(n, d^*)^{105}\text{Ag}$	$14.7 \pm 0.1$	$256 \pm 83\text{mb}$
$^{54}\text{Fe}(n, t)^{52\text{m}+g}\text{Mn}$	$14.7 \pm 0.1$	$80 \pm 8\text{mb}$
$^{58}\text{Ni}(n, t)^{56}\text{Co}$	$14.5 \pm 0.2$	$92 \pm 26\mu\text{b}$
$^{51}\text{V}(n, n'\alpha)^{47}\text{Sc}$	$14.5 \pm 0.2$	$105 \pm 15\mu\text{b}$
$^{92}\text{Mo}(n, n'\alpha)^{88}\text{Zr}$	$14.5 \pm 0.2$	$124 \pm 38\mu\text{b}$

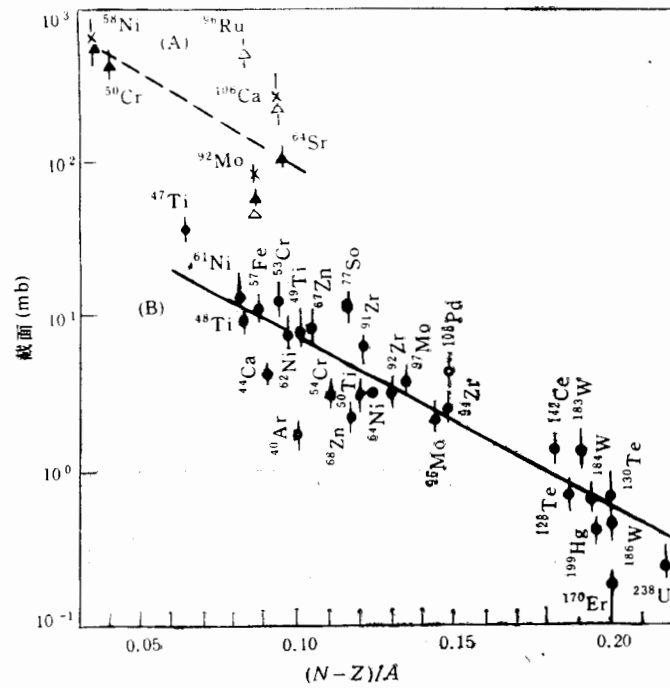


图 1  $(n, d^*)$  反应截面

A. 对于  $S_n > S_p$  的核 B. 对于  $S_n < S_p$  的核  $\blacktriangle \bullet$  S. M. Qaim 数据  $\triangle \circ$  文献值  $\times$  本工作

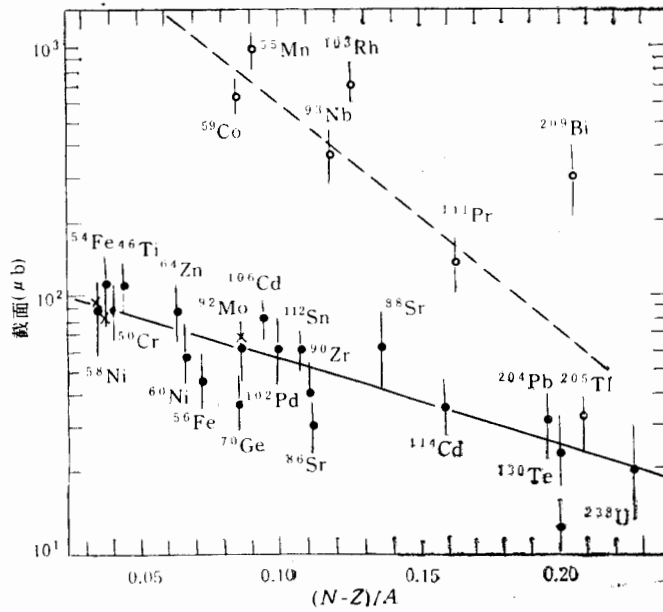


图 2  $(n, t)$  反应截面

$\bullet$  偶质量数  $\circ$  奇质量数  $\times$  本工作

$$\sigma_x = \frac{[\varepsilon I, \eta K S M D]_o [\lambda A F C]_x}{[\varepsilon I, \eta K S M D]_x [\lambda A F C]_o}$$

其中角标  $x$  为待测反应道;  $o$  为作为标准的反应道; 其它符号所示的意义见文献[3]。表2是本文所测量的几个  $(n, d^*)$ ,  $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面数据。实验的误差主要包括  $\gamma$  射线计数统计,  $\gamma$  射线探测效率, 标准截面, 样品称重, 中子能散, 以及  $\gamma$  射线在样品中自吸收校正, 级联  $\gamma$  符合校正,  $\gamma$  射线探测距离校正和中子通量波动校正等引起的误差。在图1—3中绘出了  $(n, d^*)$ ,  $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面随非对称参量  $(N-Z)/A$  的变化趋势, 这3个图分别取自文献[5—7], 然后添加我们的实验点。从这3个图可以看出, 在  $14\text{MeV}$  中子能区  $(n, d^*)$ ,  $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面随  $(N-Z)/A$  的增加明显减小, 同时也可看出  $(n, d^*)$ ,  $(n, t)$  和  $(n, n'\alpha)$  反应截面数据还较少, 急需进一步测量, 以便得到更多的信息。

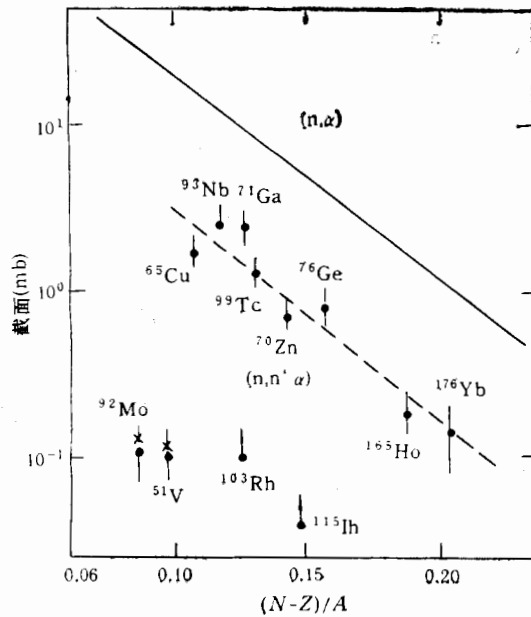


图3  $(n, n'\alpha)$  反应截面

● S. M. Qaim 数据 × 本工作

#### 四、讨 论

1. 在测量  $^{92}\text{Mo}(n, d^*)^{91m}\text{Nb}$  反应时校正了  $^{92}\text{Mo}(n, 2n)^{91m}\text{Mo}(T_{1/2}=65\text{s}) \xrightarrow{EC, \beta^+} ^{91m}\text{Nb}$  截面为  $17.4 \pm 3.2\text{ mb}$  和  $^{92}\text{Mo}(n, 2n)^{91g}\text{Mo}(T_{1/2}=15.5\text{min}) \xrightarrow{EC, \beta^+} ^{91m}\text{Nb}$  截面为  $219 \pm 19\text{ mb}$  两反应的影响<sup>[8]</sup>。  $^{91m}\text{Mo}$  对  $^{91m}\text{Nb}$  的贡献为 50%,  $^{91g}\text{Mo}$  对  $^{91m}\text{Nb}$  的贡献为 0.033%。

2. 在测量  $^{106}\text{Cd}(n, d^*)^{105}\text{Ag}$  反应截面时  $^{106}\text{Cd}(n, 2n)^{105}\text{Cd} \xrightarrow{EC, \beta^+} ^{105}\text{Ag}$  产生的  $^{105}\text{Cd}$  全部衰变为  $^{105}\text{Ag}$ , 必须扣除, 我们采用的  $^{105}\text{Cd}(n, 2n)^{105}\text{Cd}$  截面值为:  $934 \pm 49\text{ mb}$ <sup>[9]</sup>。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] V. E. Lewis, K. J. Zieba, *Nucl. Instr. and Meths*, **174**(1980), 141.  
 [ 2 ] V. E. Lewis, *Metrologia*, **20**(1984), 49.  
 [ 3 ] 王永昌等, *高能物理与核物理*, **14**(1990), 919。  
 [ 4 ] E. Browne, R. B. Firestone, *Table of Radioactive Isotopes* (1986).  
 [ 5 ] S. M. Qaim, *Nucl. Physics*, **A382**(1982), 255.  
 [ 6 ] S. M. Qaim, *Nucl. Physics*, **A438**(1985), 334.  
 [ 7 ] S. M. Qaim, *Nucl. Physics*, **A458**(1972), 614.  
 [ 8 ] S. M. Qaim, *Nucl. Physics*, **A185**(1972), 614.  
 [ 9 ] 姚立山等, *高能物理与核物理*, **11**(1987), 533.

### Cross Section Measurements for $(n, d^*)$ $(n, t)$ and $(n, n' \alpha)$ Reactions

WANG YONGCHANG YANG JINGKANG YUAN JUNQIAN KONG XIANGZHONG

(Department of Modern Physics, Lanzhou University, 730001)

#### ABSTRACT

Cross sections for some  $(n, d^*)$ ,  $(n, t)$  and  $(n, n' \alpha)$  reactions have been measured by using the activation method relative to cross sections of  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  or  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  reactions in neutron energies around 14 MeV. In this paper some of the published cross section data have also been listed and compared with our results. The neutron energies were determined by the method of cross section ratios for the reactions of  $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89m+g}\text{Zr}$  and  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$ .