

# 14MeV 钷的同位素反应截面的测量

蒲忠胜<sup>1;1)</sup> 孔祥忠<sup>2</sup> 魏国丛<sup>1</sup>

1(兰州理工大学物理系 兰州 730050)

2(兰州大学现代物理系 兰州 730000)

**摘要** 报道了在 13.5—14.6MeV 中子能区用活化法以  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  反应截面为中子注量标准测得的  $^{150}\text{Nd}(n, 2n)^{149}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}(n, 2n)^{147}\text{Nd}$  和  $^{142}\text{Nd}(n, 2n)^{141}\text{Nd}$  的反应截面值. 由  $13.5 \pm 0.2$ ,  $14.1 \pm 0.1$  和  $14.6 \pm 0.2\text{MeV}$  中子引起的  $^{150}\text{Nd}(n, 2n)^{149}\text{Nd}$  反应截面值分别为  $2037 \pm 85$ ,  $1737 \pm 68$ ,  $1657 \pm 65\text{mb}$ ,  $^{148}\text{Nd}(n, 2n)^{147}\text{Nd}$  反应截面值分别为  $1394 \pm 58$ ,  $1416 \pm 54$ ,  $1956 \pm 76\text{mb}$ ,  $^{142}\text{Nd}(n, 2n)^{141}\text{Nd}$  反应截面值分别为  $1501 \pm 59$ ,  $1623 \pm 62$ ,  $1764 \pm 111\text{mb}$ . 单能中子由  $\text{T}(d, n)^4\text{He}$  反应获得. 文中还收集了已发表的数据以作比较.

**关键词** 钷 反应截面 活化法

## 1 引言

核反应截面是核物理的重要研究课题之一. 它能揭示入射粒子和靶核相互作用机制, 加深对核力、核结构的认识, 也是核技术和核能利用的基础数据, 特别是在核反应理论模型的建立和完善, 聚变反应堆的设计, 军用核测试数据库的建设以及天体物理方面有重要意义. 在 14MeV 能区, 钷的同位素的反应截面曾有许多人进行过测量<sup>[1-15]</sup>, 各家数据之间有分歧, 所以进一步精确测量钷的同位素的反应截面是十分重要的.

## 2 实验过程

样品照射是在中国科学院近代物理研究所 T-600 型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  $\bar{E}_d = 150\text{keV}$ , 束流强度  $I_d \approx 1\text{mA}$ , 氘-钨靶厚为  $1.5\text{mg}/\text{cm}^2$ . 中子产额的变化用  $\alpha$  伴随粒子法监督, 以便对中子注量波动进行修正, 中子产额为  $4 \sim 8 \times 10^{10}\text{s}^{-1}$ . 3 组样品分别放在与入射氘束方向成  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  和  $135^\circ$  的角度上照射. 中子能量是用  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  和  $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89m+g}\text{Zr}$  截面比

法测定的<sup>[16]</sup>. 这 3 处的中子能量分别为 13.5, 14.1 和 14.6MeV. 钷样品为直径 20mm 的天然金属圆片, 纯度为 99.99%, 而钷样品是纯度为 99.9% 的氧化物粉末, 首先将氧化物粉末倒入加热的聚乙烯醇中, 搅拌均匀, 放置几天后, 压制不同厚度而直径为 2cm 的圆片. 每组样品均由两片钷样品夹一片钷样品组成.

$^{149}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{141}\text{Nd}$  和  $^{92m}\text{Nb}$  的  $\gamma$  放射性活度是用国产 CH8403 同轴高纯锗  $\gamma$  谱仪测量, 相对效率为 20%, 对 1.33keV $\gamma$  的能量分辨率为 3keV. 对探测器的  $\gamma$  探测效率进行了精确刻度, 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 处进行该处的绝对效率刻度, 得出绝对刻度曲线. 标准源的误差小于 1%. 剩余核的半衰期,  $\gamma$  射线能量和强度以及靶核丰度列于表 1 中, 这些数据取自文献[17]. 很多剩余核的退激有级联辐射产生, 造成和峰效应, 当样品与探测器表面的距离约为 2cm 时, 对截面测量的影响有时可达 10%—30% 之多, 因此这项修正很重要. 若样品与探测器的距离较远 ( $\sim 20\text{cm}$ ), 级联效应很小, 可以忽略. 在本次测量中, 由于样品和探测器之间的距离在 2cm 处, 因此对级联效应必须修正. 在

2004-02-04 收稿

1) E-mail: puzs@tom.com

计算  $\gamma$  放射性活度时,对 中子注量的波动、 $\gamma$  射线在样品中的自吸收、级联效应及测量几何进行了校正。

表 1 靶核丰度和产物核衰变数据

靶核丰度 (%)	反应道	半衰期	$E_\gamma/\text{keV}$	$I_\gamma(\%)$
5.64	$^{150}\text{Nd}(n,2n)^{149}\text{Nd}$	1.728h	211.309	25.9
5.76	$^{148}\text{Nd}(n,2n)^{147}\text{Nd}$	10.98d	531.016	13.0851
27.13	$^{142}\text{Nd}(n,2n)^{141}\text{Nd}$	2.49h	145.4	0.24
100	$^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$	10.15d	934.43	99.07

### 3 实验结果及讨论

反应截面的计算公式如下<sup>[18]</sup>:

$$\sigma_X = \frac{[\varepsilon \cdot I_\gamma \cdot \eta \cdot K \cdot S \cdot M \cdot D]_0}{[\varepsilon \cdot I_\gamma \cdot \eta \cdot K \cdot S \cdot M \cdot D]_X} \cdot \frac{[\lambda \cdot A \cdot F \cdot C]_X}{[\lambda \cdot A \cdot F \cdot C]_0} \cdot \sigma_0,$$

其中下标“X”和“0”分别表示钆样品和铈监督片的值,  $\varepsilon$  为所测的特征  $\gamma$  射线全能峰效率;  $I_\gamma$  为特征  $\gamma$  射线的强度;  $\eta$  为所测核素的同位素丰度;  $S = 1 - e^{-\lambda T}$  表示剩余核的生长因子;  $\lambda$  为衰变常量,  $T$  是样品的照射时间;  $M$  为样品质量;  $D = e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2}$  为测量收集因子,  $t_1$  为从照射开始到测量开始的时间间隔,  $t_2$  为从照射结束到测量结束的时间间隔;  $A$  为样品元素的原子量;  $C$  为实测的全能峰面积;  $F$  为总的  $\gamma$  活度校正因子,其中主要包括  $\gamma$  射线在样品中的自吸收校正和几何校正。  $K$  为中子注量波动校正因子,其表达式为:

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

其中  $l$  为将照射时间分成的段数;  $\Delta t_i$  为每段的时间

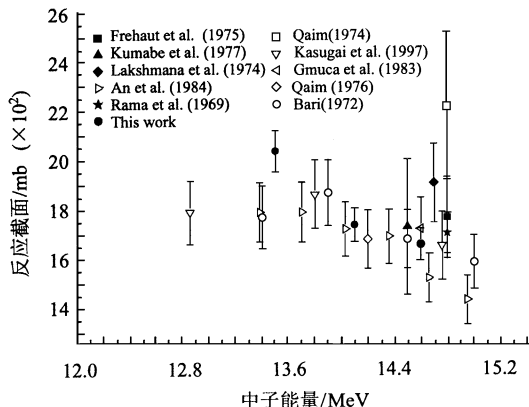


图 1  $^{150}\text{Nd}(n,2n)^{149}\text{Nd}$  的反应截面

间隔;  $\Phi_i$  为在  $\Delta t_i$  内入射到样品上的平均中子注量;  $\Phi$  为在  $T$  时间内入射到样品上的平均中子注量。

测量结果如表 2 所示,  $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$  反应截面值取自文献[19]. 截面测量的主要误差来源有  $\gamma$  探测效率 1.5%, 计数统计 0.2%—5.0%, 自吸收校正 1%, 测量几何校正 1%, 标准截面 1.5%, 样品称重 0.15%, 确定平均中子能量的误差 2.0%。

表 2 本工作的反应截面测量值

核反应	反应截面/mb		
	$E_n = 13.5 \pm 0.2 \text{ MeV}$	$E_n = 14.1 \pm 0.1 \text{ MeV}$	$E_n = 14.6 \pm 0.2 \text{ MeV}$
$^{150}\text{Nd}(n,2n)^{149}\text{Nd}$	$2037 \pm 85$	$1737 \pm 68$	$1657 \pm 65$
$^{148}\text{Nd}(n,2n)^{147}\text{Nd}$	$1394 \pm 58$	$1416 \pm 54$	$1956 \pm 76$
$^{142}\text{Nd}(n,2n)^{141}\text{Nd}$	$1501 \pm 59$	$1623 \pm 62$	$1764 \pm 111$
$^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$ <sup>[19]</sup>	$452.4 \pm 5.7$	$459.1 \pm 5.6$	$459.9 \pm 5.6$

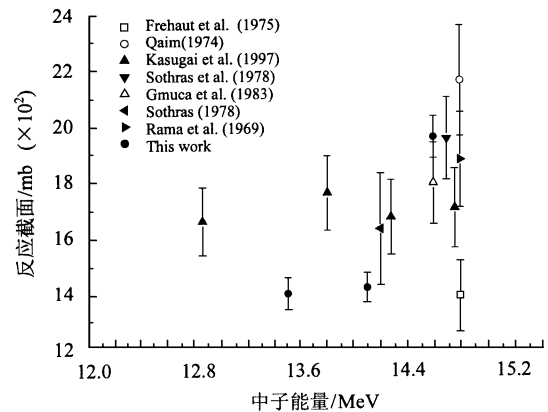


图 2  $^{148}\text{Nd}(n,2n)^{147}\text{Nd}$  的反应截面

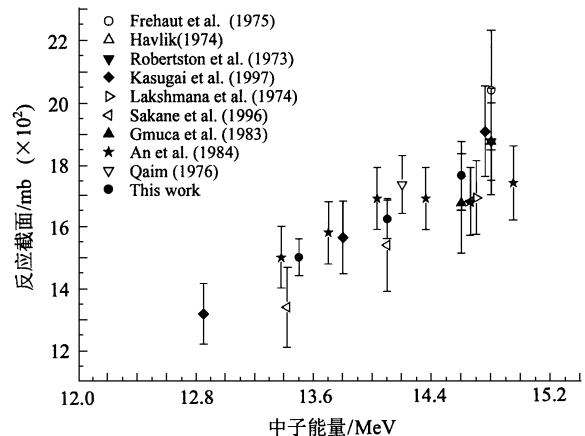


图 3  $^{142}\text{Nd}(n,2n)^{141}\text{Nd}$  的反应截面

$^{150}\text{Nd}(n, 2n)^{149}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}(n, 2n)^{147}\text{Nd}$  和  $^{142}\text{Nd}(n, 2n)^{141}\text{Nd}$  的反应截面值随能量的变化画在图 1—3 中, 在每个图中把已收集到的其他作者的反应截面数据也画在其中. 从图 1 可以看出, 在 13.5—14.7 MeV 中子能区,  $^{150}\text{Nd}(n, 2n)^{149}\text{Nd}$  反应截面随中子能量增加而减小, 其走向与 An<sup>[7]</sup>, Kasugai<sup>[4]</sup> 和 Bari<sup>[10]</sup> 的截面走向一致, 而 Qaim<sup>[2]</sup> 的截面数据明显比我们

的和其他作者的数据偏大. 从图 2 可以看出, 在 13.5—14.7 MeV 中子能区,  $^{148}\text{Nd}(n, 2n)^{147}\text{Nd}$  反应截面随中子能量增加而增大. 从图 3 中可以看出, 在 13.5—14.7 MeV 中子能区,  $^{142}\text{Nd}(n, 2n)^{141}\text{Nd}$  反应截面随中子能量增加而增大, 其走向与 Sakane<sup>[15]</sup> 和 Kasugai<sup>[4]</sup> 的截面走向一致.

## 参考文献 (References)

- 1 Frehaut J et al. 5th Sem. on Interact. Of Fast Neutrons, Gaussig, 1975
- 2 Qaim S M. Nuclear Physics, 1974, **A 224**:319
- 3 Kumabe I, Kotake E, Nagahama F. J. of Nuclear Science and Technology, 1977, **14**:319
- 4 Kasugai Y, Ikeda Y, Uno Y. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Techn., Trieste, 1997
- 5 Lakshmana Das N, Srinivase Rao C V, Thirumala Rao B V. J. Rama Rao, 17th Nucl. and Solid State Physics Symp., Bombay, 1974
- 6 Gmuca S, Ribansky I. Acta Physica Slovaca, 1983, **33**:9
- 7 An Jong Do et al. J. of Physics, Part G., 1984, **10**:91
- 8 Qaim S M. Radiochem. and Radioanal. Letters, 1976, **25**:335
- 9 Rama Prasad P, Rama Rao J, Kondaiah E. Nuclear Physics, 1969, **A 125**:57
- 10 Bari A. Dissertation Abstracts(Sciences), 1972, **B 32**:509
- 11 Sothras S L, Salaita G N. J. of Inorganic and Nuclear Chemistry, 1978, **40**:585
- 12 Sothras S, Dissertation Abstracts(Sciences), 1978, **B 38**:280
- 13 Havlik E. Acta Physica Austriaca, 1971, **34**:209
- 14 Robertston J C, Audric B, Kolkowski P. Journal of Nuclear Energy, 1973, **27**:531
- 15 Sakane H et al. INDC(JPN)-178/U, 1996, **193**
- 16 Levis V E, Zieba K J. Nucl. Instrum. Methods, 1980, **174**:141
- 17 Brone E, Firestone R B. Table of Radioactive Isotopes, USA, 1996
- 18 WANG Yong-Chang, YUAN Jun-Qian, REN Zhong-Liang et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1991, **15**:73 (in Chinese)  
(王永昌, 袁俊谦, 任忠良等人. 高能物理与核物理, 1991, **15**:73)
- 19 Filatenkov A A, Chuvaev A V, Aksenov V N et al. RI-252, 1999

## Cross Section Measurements for (n, 2n) Reactions on Neodymium Isotopes at the Neutron Energies of 13.5, 14.1 and 14.6 MeV

PU Zhong-Sheng<sup>1,1)</sup> KONG Xiang-Zhong<sup>2</sup> WEI Guo-Cong<sup>1</sup>

1(Department of Physics, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

2(Department of Modern Physics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The cross sections for (n, 2n) reaction are measured on Neodymium isotopes at the neutron energies of 13.5—14.6 MeV using activation technique. The cross section data for the reactions of  $^{150}\text{Nd}(n, 2n)^{149}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}(n, 2n)^{147}\text{Nd}$  and  $^{142}\text{Nd}(n, 2n)^{141}\text{Nd}$  are reported. The cross sections of  $^{150}\text{Nd}(n, 2n)^{149}\text{Nd}$  reaction are  $2037 \pm 85$ ,  $1737 \pm 68$  and  $1657 \pm 65$  mb at  $13.5 \pm 0.2$ ,  $14.1 \pm 0.1$  and  $14.6 \pm 0.2$  MeV respectively. The cross sections of  $^{148}\text{Nd}(n, 2n)^{147}\text{Nd}$  reaction are  $1394 \pm 58$ ,  $1416 \pm 54$  and  $1956 \pm 76$  mb at  $13.5 \pm 0.2$ ,  $14.1 \pm 0.1$  and  $14.6 \pm 0.2$  MeV respectively. The cross sections of  $^{142}\text{Nd}(n, 2n)^{141}\text{Nd}$  reaction are  $1501 \pm 59$ ,  $1623 \pm 62$  and  $1764 \pm 111$  mb at  $13.5 \pm 0.2$ ,  $14.1 \pm 0.1$  and  $14.6 \pm 0.2$  MeV respectively. The neutron fluences are determined by the cross sections of  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  reaction. The comparison between the present results and the previously published data is made.

**Key words** Neodymium, cross section, activation