

## 13.5—14.6MeV 能区中子引起的 铂同位素核反应截面测量

罗均华<sup>1,2</sup> 周丰群<sup>1</sup> 孔祥忠<sup>1;1)</sup>

1 (兰州大学现代物理系 兰州 730000)

2 (河西学院物理系 张掖 734000)

**摘要** 用活化法以  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  和  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  反应截面为中子注量标准, 对  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m+g}\text{Pt}$ ,  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m}\text{Pt}$ ,  $^{192}\text{Pt}(n, 2n)^{191}\text{Pt}$ ,  $^{194}\text{Pt}(n, p)^{194}\text{Ir}$ ,  $^{195}\text{Pt}(n, p)^{195m}\text{Ir}$  和  $^{196}\text{Pt}(n, p)^{196m}\text{Ir}$  反应截面进行了测量, 由 (13.5 ± 0.2), (14.1 ± 0.1) 和 (14.6 ± 0.2) MeV 中子引起的  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m+g}\text{Pt}$  反应截面分别为 (2038 ± 159), (1919 ± 73) 和 (1836 ± 68) mb,  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m}\text{Pt}$  反应截面为 (974 ± 37), (1055 ± 39) 和 (1042 ± 39) mb; 由 (14.1 ± 0.1), (14.4 ± 0.2) 和 (14.6 ± 0.2) MeV 中子引起的  $^{192}\text{Pt}(n, 2n)^{191}\text{Pt}$  反应截面为 (1680 ± 103), (1810 ± 67) 和 (2047 ± 97) mb; 由 (14.1 ± 0.1) 和 (14.4 ± 0.2) MeV 中子引起的  $^{194}\text{Pt}(n, p)^{194}\text{Ir}$  反应截面为 (3.8 ± 0.4) 和 (5.4 ± 0.5) mb; 由 (14.1 ± 0.1), (14.4 ± 0.2) 和 (14.6 ± 0.2) MeV 中子引起的  $^{195}\text{Pt}(n, p)^{195m}\text{Ir}$  反应截面为 (1.0 ± 0.2), (1.6 ± 0.2) 和 (1.8 ± 0.2) mb; 由 (13.5 ± 0.2) 和 (14.4 ± 0.2) MeV 中子引起的  $^{196}\text{Pt}(n, p)^{196m}\text{Ir}$  反应截面分别为 (1.13 ± 0.07) 和 (1.18 ± 0.06) mb. 本工作的数据和其他一些作者的数据进行了比较.

**关键词** 铂 反应截面 活化法 中子

### 1 引言

核反应截面是核物理的重要研究课题之一. 它能揭示入射粒子与靶核相互作用机制, 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立以及天体物理方面都有重要的意义. 铂是一种重要的金属材料, 仔细研究其同位素的反应截面, 有十分重要的意义. 在 13.5—14.6 MeV 能区, 已有一些测量数据, 但大部分是 1980 年以前测量的, 且误差也较大. 所以, 进一步精确测量铂同位素反应截面是十分必要的.

### 2 试验过程

#### 2.1 样品照射

样品照射是在兰州大学 ZF-300-II 型强流中子

发生器上进行的, 以  $\text{T}(d, n)^4\text{He}$  反应为中子源, 平均氘束能量为  $E_d = 135\text{keV}$ , 束流强度为  $I_d \approx 500\mu\text{A}$ , 氚-钛靶质量厚度  $1.35\text{mg}/\text{cm}^2$ , 中子产额的变化用  $\alpha$  伴随粒子法监督, 以便对中子注量的波动进行修正, 中子产额约为  $(3-4) \times 10^{10}\text{n/s}$ . 中子能量是用  $^{90}\text{Zr}(n, 2n)^{89m+g}\text{Zr}$  和  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  截面比法测定的 (Lewis and Zieba, 1980)<sup>[1]</sup>. 中子注量用  $^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$  和  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  反应截面确定. 样品分别放在与入射 d 束成  $0^\circ-140^\circ$  角的方向上, 距靶点约 2—15 cm. Nb, Al 和 Pt 样品均为  $\phi = 10\text{mm}$  的天然金属圆片, 每组铂样品分别夹在两片 Nb 或 Al 之间照射.

#### 2.2 $\gamma$ 放射性的测量

$^{92m}\text{Nb}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{197m+g}\text{Pt}$ ,  $^{197m}\text{Pt}$ ,  $^{191}\text{Pt}$ ,  $^{194}\text{Ir}$ ,  $^{195m}\text{Ir}$  和  $^{196m}\text{Ir}$  的  $\gamma$  放射性用国产 CH8403 同轴高纯锗  $\gamma$  谱仪测量,  $\gamma$  探测器的相对效率为 20%, 对 1.33 MeV

2004-11-02 收稿

1) E-mail: kongxz@lzu.edu.cn

$\gamma$  射线的能量分辨率为 3keV. 测量时样品距晶体表面为 2cm. 对探测器的  $\gamma$  探测效率进行了精确刻度. 用美国国家标准局生产的 SRM4275 (Standard Reference Material 4275) 型标准点源刻度 20cm 处的绝对效率, 得出绝对刻度曲线. 由于在实际测量过程中, 样品是放在距高纯锗晶体 2cm 处, 所以用一组单能源分别在 20cm 和 2cm 处测出这两个位置的各条  $\gamma$  射线能量的效率比, 然后用这组不同能量的效率比和上述 20cm 处的绝对效率曲线计算出 2cm 处的绝对效率曲线. 标准源的误差小于 1.0%, 2cm 处所定的误差小于 1.5%.

试验中反应产物核的衰变常量、 $\gamma$  射线能量、强度以及靶核的丰度列于表 1, 这些数据均取自文献[2]. 在计算  $\gamma$  射线活度时, 对中子注量的波动、 $\gamma$  射线在样品中的自吸收、级联  $\gamma$  符合效应以及测量几何进行了校正.

表 1 核反应及核数据

反应道	靶核丰度/%	产物核半衰期	$E_\gamma/\text{keV}$	$I_\gamma/\%$
$^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197}\text{Pt}$	7.22	18.3h	191.437	3.7
$^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m}\text{Pt}$	7.22	95.41m	279.01	2.4
$^{192}\text{Pt}(n, 2n)^{191}\text{Pt}$	0.79	2.9d	538.87	13.7
$^{194}\text{Pt}(n, p)^{194}\text{Ir}$	32.9	19.15h	293.55	2.55
$^{195}\text{Pt}(n, p)^{195m}\text{Ir}$	33.8	3.8h	432.86	9.0
$^{196}\text{Pt}(n, p)^{196m}\text{Ir}$	25.3	1.40h	355.9	94.08
$^{93}\text{Nb}(n, 2n)^{92m}\text{Nb}$	100	10.15d	934.43	99.07
$^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$	100	14.959h	1368.633	100

### 3 试验结果及讨论

反应截面的计算公式如下[3]:

$$\sigma_x = \frac{[\epsilon_p I_\gamma \eta K S M D]_0}{[\epsilon_p I_\gamma \eta K S M D]_x} \cdot \frac{[\lambda A F C]_x}{[\lambda A F C]_0} \cdot \sigma_0,$$

其中下标 '0' 和 'x' 分别表示监督片和待测核素的物理量,  $\epsilon_p$  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;  $\eta$  为所测核素的丰度;  $\lambda$  为衰变常量;  $S = 1 - e^{-\lambda T}$  表示剩余核的生长因子,  $T$  是总的中子照射时间;  $M$  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, 其表达式为

$$F = f_s \times f_c \times f_g,$$

其中  $f_s, f_c$  和  $f_g$  分别是样品给定的  $\gamma$  射线在样品中的自吸收因子、级联  $\gamma$  符合效应修正因子以及几何校正修正因子,  $K$  为中子注量波动校正因子, 其表达式为

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

其中  $l$  为将照射时间分成的段数;  $\Delta t_i$  为每段的时间间隔;  $\Phi_i$  为在  $\Delta t_i$  内入射到样品的平均中子注量;  $\Phi$  为在  $T$  时间内入射到样品上的平均中子注量.

所测的反应截面、标准截面及文献值列于表 2. 从表 2 可以看出, 在 13.5—14.6MeV 中子能区,  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m+g}\text{Pt}$  反应截面值随中子能量的增加而减小(如图 1),  $^{192}\text{Pt}(n, 2n)^{191}\text{Pt}$ ,  $^{194}\text{Pt}(n, p)^{194}\text{Ir}$ ,  $^{195}\text{Pt}(n, p)^{195m}\text{Ir}$  和  $^{196}\text{Pt}(n, p)^{196m}\text{Ir}$  反应截面值随中子能量的增加而增加;  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m+g}\text{Pt}$ (如图 1),  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m}\text{Pt}$ (如图 2)和  $^{196}\text{Pt}(n, p)^{196m}\text{Ir}$  在各能量点的截面值在误差范围内与文献值符合很好. 对  $^{192}\text{Pt}(n, 2n)^{191}\text{Pt}$  反应的截面值, 在 14.6MeV 能量点与 Hankla et al. (1972)[4] 和 Qaim(1972)[8] 的数据较好符合, 而在 14.4MeV 能量点比 Hankla et al. (1972)[4] 低, 在 14.1MeV 能量点没有文献值与之对应;

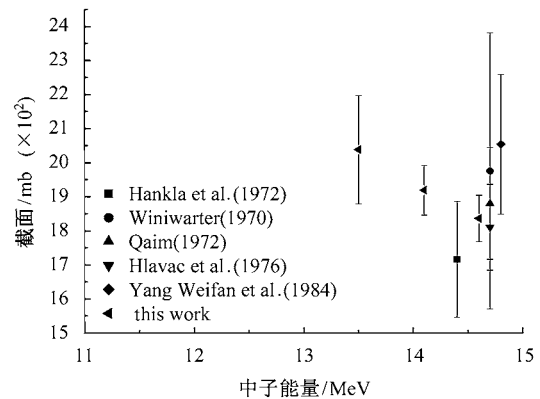


图 1  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m+g}\text{Pt}$  的反应截面

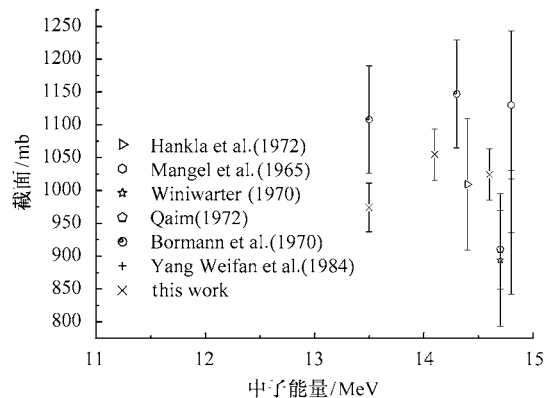


图 2  $^{198}\text{Pt}(n, 2n)^{197m}\text{Pt}$  的反应截面

表 2 测量结果及文献值

反应道	本工作		文献值		Reference
	$\sigma/\text{mb}$	$E_n/\text{MeV}$	$\sigma/\text{mb}$	$E_n/\text{MeV}$	
$^{198}\text{Pt}(n,2n)^{197m+g}\text{Pt}$	$1836 \pm 68$	$14.6 \pm 0.2$	$1716 \pm 170$	$14.4 \pm 0.4$	[4]
	$1919 \pm 73$	$14.1 \pm 0.1$	$1976 \pm 405$	$14.70 \pm 0.15$	[7]
	$2038 \pm 159$	$13.5 \pm 0.2$	$1880 \pm 164$	$14.7 \pm 0.3$	[8]
			$1810 \pm 126$	$14.7 \pm 0.2$	[10]
			$2054 \pm 205$	14.8	[11]
$^{198}\text{Pt}(n,2n)^{197m}\text{Pt}$	$1042 \pm 39$	$14.6 \pm 0.2$	$1009 \pm 100$	$14.4 \pm 0.4$	[4]
	$1055 \pm 39$	$14.1 \pm 0.1$	$1130 \pm 113$	14.8	[5]
	$974 \pm 37$	$13.5 \pm 0.2$	$894 \pm 101$	$14.70 \pm 0.15$	[7]
			$910 \pm 60$	$14.7 \pm 0.3$	[8]
			$1108 \pm 82$	$13.54 \pm 0.06$	[9]
			$1147 \pm 82$	$14.30 \pm 0.06$	[9]
			$936 \pm 94$	14.8	[11]
$^{192}\text{Pt}(n,2n)^{191}\text{Pt}$	$2047 \pm 97$	$14.6 \pm 0.2$	$2035 \pm 150$	$14.4 \pm 0.4$	[4]
	$1810 \pm 67$	$14.4 \pm 0.2$	$2026 \pm 168$	$14.7 \pm 0.3$	[8]
	$1680 \pm 103$	$14.1 \pm 0.1$			
$^{194}\text{Pt}(n,p)^{194}\text{Ir}$	$3.8 \pm 0.4$	$14.1 \pm 0.1$	$4.3 \pm 0.6$	$14.4 \pm 0.4$	[4]
	$5.4 \pm 0.5$	$14.4 \pm 0.2$	$3.92 \pm 0.4$	14.5	[6]
			$3.9 \pm 0.5$	$14.7 \pm 0.3$	[12]
$^{195}\text{Pt}(n,p)^{195m}\text{Ir}$	$1.8 \pm 0.2$	$14.6 \pm 0.2$	$1.3 \pm 0.2$	$14.7 \pm 0.3$	[12]
	$1.6 \pm 0.2$	$14.4 \pm 0.2$	$2.9 \pm 0.3$	14.5	[6]
	$1.0 \pm 0.2$	$14.1 \pm 0.1$			
$^{196}\text{Pt}(n,p)^{196m}\text{Ir}$	$1.18 \pm 0.06$	$14.4 \pm 0.2$	$1.1 \pm 0.2$	$14.4 \pm 0.4$	[4]
	$1.13 \pm 0.07$	$13.5 \pm 0.2$	$1.00 \pm 0.15$	$14.7 \pm 0.3$	[12]
$^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$	$457.9 \pm 6.8$	13.5			[13]
	$459.8 \pm 6.8$	14.1			[13]
	$459.8 \pm 6.8$	14.4			[13]
	$459.7 \pm 5.0$	14.6			[13]
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	$125.7 \pm 0.8$	13.5			[13]
	$121.6 \pm 0.6$	14.1			[13]
	$116.8 \pm 0.4$	14.4			[13]
	$114.1 \pm 0.6$	14.6			[13]

$^{194}\text{Pt}(n,p)^{194}\text{Ir}$  反应的截面测量值在 14.4MeV 能量点明显比 Hankla et al. (1972)<sup>[4]</sup> 和 Coleman et al. (1959)<sup>[6]</sup> 的截面值大;  $^{195}\text{Pt}(n,p)^{195m}\text{Ir}$  反应道的测量截面值在 14.6MeV 能量点比 Qaim et al. (1977)<sup>[12]</sup> 的数据偏大, 而在 14.4MeV 能量点 Coleman et al.

(1959)<sup>[6]</sup> 的数据几乎是我们的测量值的两倍。

本工作的主要误差来源有: 计数统计误差, 标准截面误差, 探测效率, 样品质量,  $\gamma$  射线的自吸收、级联  $\gamma$  符合效应、测量几何因素以及散射中子的影响等。

## 参考文献 (References)

- 1 Lewis V E, Zieba K J. Nucl. Instrum. Methods, 1980, 174, 141—144
- 2 Browne E, Firestone R B. Table of Isotopes. Wiley, New York, 1996
- 3 WANG Yong-Chang, YUAN Jun-Qian, REN Zhong-Liang et al. High Energy Phys. & Nucl. Phys., 1990, 14: 923 (in Chinese)  
(王永昌, 袁俊谦, 任忠良等. 高能物理与核物理, 1990, 14: 923)
- 4 Hankla A K, Fink R W. Nucl. Phys., 1972, A180: 157—176
- 5 Mangel S K, Khurana. Nucl. Phys., 1965, 69: 158
- 6 Coleman R F, Hawker B E, O'Connor L P. Proc. Phys. Soc., 1959, 73: 215
- 7 Winiwarter P. Nucl. Phys., 1970, A158: 77
- 8 Qaim S M. Nucl. Phys., 1972, A185: 614
- 9 Bormann M, Bissen H H, Magiera E. Nucl. Phys., 1970, A157: 481
- 10 Hlavac S, Kristiak J, Oblozinsky P. Acta. Phys. Slov., 1976, 26: 64
- 11 YANG Wei-Fan, LI Ying-Jun. Chin. Nucl. Phys., 1984, 6: 373
- 12 Qaim S M, Molla N I. Nucl. Phys., 1977, A283: 269
- 13 Wagner M, Vonach H, Pavlik A et al. Physik Daten Physics Data, Evaluation of Cross Sections for 14 Important Neutron-Dosimetry Reactions, 1990, No. 13-5

### Cross-Section Measurements for Reactions on Platinum Isotopes Induced by Neutron Beams in Energy Range of 13.5 to 14.6 MeV

LUO Jun-Hua<sup>1,2</sup> ZHOU Feng-Qun<sup>1</sup> KONG Xiang-Zhong<sup>1;1)</sup>

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

2 (Department of Physics, Hexi University, Zhangye 734000, China)

**Abstract** Cross-sections for (n,2n) and (n,p) reactions have been measured on platinum isotopes at the neutron energies of 13.5 to 14.6 MeV using the activation technique. Data were reported for the following reactions:  $^{198}\text{Pt}(n,2n)^{197m+\text{g}}\text{Pt}$ ,  $^{198}\text{Pt}(n,2n)^{197m}\text{Pt}$ ,  $^{192}\text{Pt}(n,2n)^{191}\text{Pt}$ ,  $^{194}\text{Pt}(n,p)^{194}\text{Ir}$ ,  $^{195}\text{Pt}(n,p)^{195m}\text{Ir}$ , and  $^{196}\text{Pt}(n,p)^{196m}\text{Ir}$ . At the neutron energies of 13.5, 14.1 and 14.6 MeV, the cross sections in mb are  $2038 \pm 159$ ,  $1919 \pm 73$  and  $1836 \pm 68$  for  $^{198}\text{Pt}(n,2n)^{197m+\text{g}}\text{Pt}$  reaction;  $974 \pm 37$ ,  $1055 \pm 39$  and  $1042 \pm 39$  for  $^{198}\text{Pt}(n,2n)^{197m}\text{Pt}$  reaction, respectively. The cross sections are  $1680 \pm 103$ ,  $1810 \pm 67$  and  $2047 \pm 97$  for  $^{192}\text{Pt}(n,2n)^{191}\text{Pt}$  reaction, and  $1.0 \pm 0.2$ ,  $1.6 \pm 0.2$  and  $1.8 \pm 0.2$  for  $^{195}\text{Pt}(n,p)^{195m}\text{Ir}$  reaction, respectively, at energies of 14.1, 14.4 and 14.6 MeV. At 14.1 and 14.4 MeV neutron energies, the cross sections are  $3.8 \pm 0.4$  and  $5.4 \pm 0.5$  for  $^{194}\text{Pt}(n,p)^{194}\text{Ir}$  reaction. While, the data are  $(1.13 \pm 0.07)$  and  $(1.18 \pm 0.06)$  mb at energies of 13.5 and 14.4 MeV, respectively, for  $^{196}\text{Pt}(n,p)^{196m}\text{Ir}$  reaction.

The neutron fluences were determined using the monitor reaction  $^{93}\text{Nb}(n,2n)^{92m}\text{Nb}$  or  $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ . A comparison was made between the present cross sections and the collected data for the measured reactions.

**Key words** platinum, cross section, activation method, neutron