

# 活化反应截面评价中核衰变数据的作用和影响

黄小龙<sup>1)</sup> 卢涵林

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘要** 就核衰变数据在活化反应截面评价中的作用和影响作了比较详细的介绍,通过几个实例,说明在活化反应截面评价中必须充分考虑核衰变数据的作用和影响.核衰变数据的不准确性有时是造成活化反应截面彼此间分歧的主要原因.

**关键词** 活化反应截面 数据评价 核衰变数据

## 1 引言

中子活化核反应截面是核技术应用和核物理研究中非常重要的核数据.可用于验证、提供依据进一步改善和发展核反应模型理论,在核测试、核裂变与聚变反应堆技术等方面有广泛的应用价值.

迄今为止,已有许多的中子活化反应截面测量数据,但有些反应的活化反应截面测量数据间存在分歧或存在测量能区不全等问题.因此,需要评价工作者对其进行数据的编纂评价和理论计算.

影响活化反应截面测量精度的因素很多,但从测量原理来看,产物核衰变数据的准确度直接影响到最终测量数据的精度.其中, $\gamma$ 衰变分支比是常见的一种.

本文对核衰变数据在活化反应截面评价中的作用和影响作了比较详细的讨论,并通过几个具体实例剖析之.

## 2 核衰变数据对活化反应截面的作用和影响

活化法就是将待测样品放到一特定的中子场中辐照一段时间后,取出并测量反应产物核的放射性,由监测到的中子注量率,定出产生这种产物核的生成截面.活化法只适用于反应的产物核是放射性的核反应.

2001-10-29 收稿

<sup>1)</sup>E-mail: huangxl@iris.ciae.ac.cn

实际测量过程中大多数采用相对测量法. 相对测量法的截面计算公式为

$$\sigma = \sigma_0 \frac{N_\gamma \cdot e^{\lambda t} \cdot M_0 \cdot \epsilon_0 \cdot I_0 \cdot K_0 \cdot F_0 \cdot (1 - e^{-\lambda_0 T})}{N_{\gamma_0} \cdot e^{\lambda_0 t_0} \cdot M \cdot \epsilon \cdot I \cdot K \cdot F \cdot (1 - e^{-\lambda T})}, \quad (1)$$

其中下标0表示作为相对标准片的各项量. 式中各项量: $\sigma$ 为反应截面; $N_\gamma$ 为所测特征 $\gamma$ 射线的全能峰单位时间计数; $\lambda$ 为剩余核的衰变常数; $t$ 为冷却时间; $M$ 为样品的靶核数; $\epsilon$ 为Ge(Li)探测器全能峰探测效率; $I$ 为 $\gamma$ 射线分支比; $T$ 为辐照时间; $K$ 为中子通量波动修正因子; $F$ 为有关的修正因子(通常指级联、样品对 $\gamma$ 射线自吸收、中子在样品中的散射、中子在靶头上的散射,等等).

从公式(1)可以看出,产物核衰变数据的准确度将直接影响测量数据的精度. 这些衰变数据包括产物核的衰变半衰期、 $\gamma$ 衰变分支比等. 在确定产物核的特征 $\gamma$ 射线时,核衰变纲图将起重要作用. 下面通过实例就这些方面进行简单讨论.

## 2.1 半衰期

一般而言,比较可靠的半衰期不会导致活化反应截面测量数据间出现太大的分歧. 但当半衰期出现较大变化时,却能造成测量数据间出现矛盾与分歧,甚至是重大分歧的主要原因.

以 $^{109}\text{Ag}(n,2n)^{108m}\text{Ag}$ 反应为例,测量数据在1993年前与1993年后明显分为两组(详见图1). 仔细分析实验细节后发现,产物核 $^{108m}\text{Ag}$ 的半衰期出现了较大变化,1993年前使

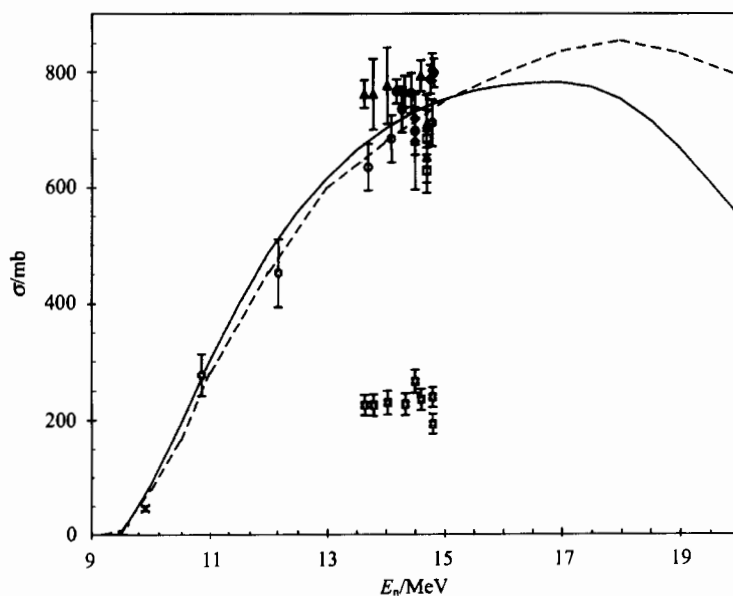


图1  $^{109}\text{Ag}(n,2n)^{108m}\text{Ag}$  反应截面

- Exp. (before 1993)<sup>[1-3]</sup>, ● J. Csikai (1993)<sup>[4]</sup>, ■ Y. Ikeda (1995)<sup>[5]</sup>,  
 ▲ D. L. Smith (1995)<sup>[6]</sup>, △ Wang Yongchang (1995)<sup>[7]</sup>, ✱ S. M. Qaim (1995)<sup>[8]</sup>,  
 × Yu Weixiang (1995)<sup>[9]</sup>, ● Lu Hanlin (1995)<sup>[10]</sup>, □ J. W. Meadows (1996)<sup>[11]</sup>,  
 ○ A. A. Filatenkov (1997)<sup>[12]</sup>, — Present evaluation, --- ADL-3.

用的半衰期为 127 年, 而 1993 年后则为 418 年, 没有发现其他实验因素能造成如此大的分歧. 很明显, 半衰期正是造成测量数据出现分歧的主要原因. 事实上, 若作如下粗略修正处理

$$\sigma_{\text{new}} = \sigma_{\text{old}} \cdot T_{1/2}^{\text{new}} / T_{1/2}^{\text{old}}, \quad (2)$$

则 1993 年前的测量数据与 1993 年后的实验数据就能较好地符合(见表 1).

表 1  $^{109}\text{Ag}(n, 2n)^{108\text{m}}\text{Ag}$  反应截面测量数据的比较(单位: mb)

$E_n/\text{MeV}$	王永昌	$T_{1/2}(127\text{a})$	Csikai	王永昌	$T_{1/2}(418\text{a})$	Csikai
	(1992) <sup>[1]</sup>	Ikeda(1991) <sup>[2]</sup>	(1991) <sup>[3]</sup>	(1995) <sup>[1]</sup>	Ikeda(1995) <sup>[2]</sup>	(1993) <sup>[3]</sup>
13.64	223			759/734*		
13.79	223			759/734*		
14.03	227			774/747*		
14.33	224			763/737*		
14.5			263			716/865*
14.6	232			790/764*		
14.8	236	191		805/777*	671/629*	

\* 用公式(2)作粗略修正后的修正值.

## 2.2 $\gamma$ 衰变分支比

在活化反应截面数据评价过程中, 首先要用最新的准确  $\gamma$  衰变分支比数据对所收集到的实验数据进行归一修正. 这是因为当时实验测量所用的  $\gamma$  分支比数据与最新  $\gamma$  分支比数据相比, 可能有较大的变化, 进而影响到测量的准确度.

$\gamma$  分支比数据对实验测量数据的影响, 有时是很大的. 因此, 评价者对  $\gamma$  分支比数据非常重视, 评价过程中都会对其进行修正处理. 例如  $^{187}\text{Re}(n, 2n)^{186\text{g}}\text{Re}$  反应(详见图 2), 樊

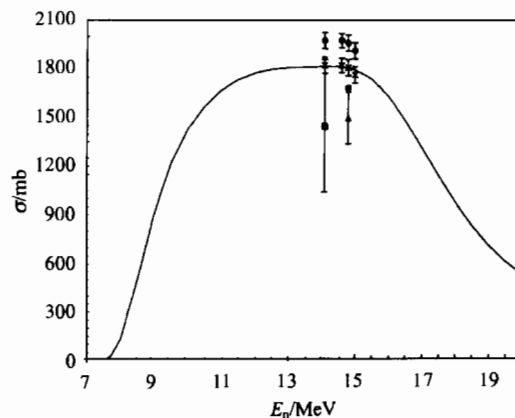


图 2  $^{187}\text{Re}(n, 2n)^{186\text{g}}\text{Re}$  反应截面

- △ C. S. Khurana(1961)<sup>[13]</sup>, ■ R. A. Karam(1963)<sup>[14]</sup>,  
 ▲ A. A. Druzhinin(1967)<sup>[15]</sup>, ● Fan Tieshuan(1992)<sup>[16]</sup>,  
 × Fan Tieshuan(corrected), — Present Evaluation.

铁栓等<sup>[16]</sup>的测量数据明显偏高. 他们测量时用的特征  $\gamma$  射线 137keV 的  $\gamma$  分支比为 8.5%, 而最新的  $\gamma$  分支比为 9.22%<sup>[17]</sup>. 用新数据进行归一处理后, 则与其他测量数据在误差范围内相符, 并且与<sup>187</sup>Re(n,2n)<sup>186m</sup>Re 反应截面相加得到的<sup>187</sup>Re(n,2n)<sup>186</sup>Re 反应截面也在合理范围内.

### 2.3 核衰变纲图

核衰变纲图对测量数据的影响, 主要表现为所选取的测量射线及所测量射线的分支比是否准确等. 下面以<sup>181</sup>Ta(n,2n)<sup>180g</sup>Ta 反应为例具体说明(详见图 3).

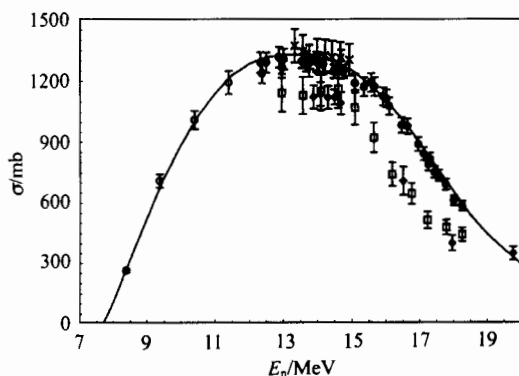


图 3 <sup>181</sup>Ta(n,2n)<sup>180g</sup>Ta 反应截面

- ◇ R. J. Prestwood(1961)<sup>[18]</sup>, □ M. Bormann(1968)<sup>[19]</sup>,
- ▲ T. B. Ryves(1980)<sup>[20]</sup>, × Y. Ikeda(1988)<sup>[21]</sup>,
- Zhao Wenrong(1989)<sup>[22]</sup>, ○ Huang Xiaolong(1997)<sup>[23]</sup>,
- Present Evaluation.

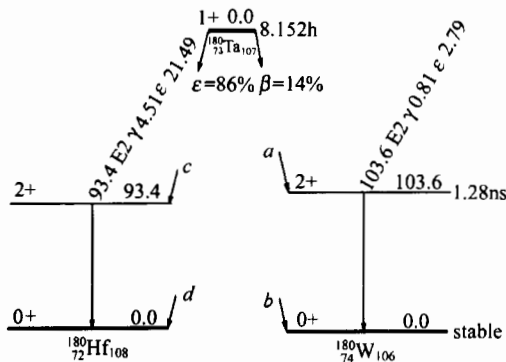


图 4 <sup>180g</sup>Ta 衰变纲图

该反应截面测量值很多, 分歧极大, 以赵文荣<sup>[22]</sup>等、Bormann<sup>[19]</sup>等和 Prestwood<sup>[18]</sup>等的测量最为突出. 在决定截面的参数中, 中子注量不太可能造成如此大的分歧, 最大可能就是活性的测量. Prestwood 与 Bormann 是通过测量  $\beta$  确定其活性, 赵文荣则是通过测量特征  $\gamma$  射线和 KX 射线确定其活性的, 因此分歧系由所使用的衰变纲图引起的.

产物核<sup>180g</sup>Ta 的核衰变纲图见图 4, Prestwood, Bormann, Ryves<sup>[20]</sup>和赵文荣等测量所用的核衰变纲图及相关衰变参数列于表 2.

表 2 产物核<sup>180g</sup>Ta 的不同衰变纲图及相关衰变参数

	Brown <sup>[25]</sup>	Gallagher <sup>[26]</sup>	Ryves <sup>[24]</sup>
a/%	11	3.2	3.5
b/%	10	9.8	14.6
c/%	79	27	24.3
d/%		60	57.6
$\gamma$ (93keV)		4.682	4.274
$\gamma$ (104keV)		0.715	0.793

为了验证核衰变纲图对活化反应截面测量的影响,我们用不同的衰变纲图及数据对上述 4 家(其他测量未给出有关参数)测量数据在 14.5MeV 能点处进行归一处理(详见表 3)。

由表 3 可看出,经核衰变数据修正后,许多有较大分歧的实验数据已趋于一致。

表 3  $^{181}\text{Ta}(n,2n)^{180g}\text{Ta}$  反应截面用不同核衰变纲图时的比较(单位:mb)

	Brown <sup>[25]</sup>	Gallagher <sup>[26]</sup>	Ryves <sup>[24]</sup>	Method
Prestwood <sup>[18]</sup>	1116	1802	1288	$\beta$
Bormann <sup>[19]</sup>	1157	1869	1335	$\beta$
Ryves <sup>[20]</sup>		1178	1307	$\gamma(93\text{keV})$
赵文荣 <sup>[22]</sup>		1351	1269	$\gamma(93 + 104\text{keV})$

由此可见,产物核的核衰变纲图对活化反应截面的影响很大,评价时应给予充分重视。

### 3 结束语

本文对核衰变数据在活化反应截面评价中的作用和影响作了比较详细的分析探讨,并通过几个实例具体说明了其对活化反应截面评价的影响。这些衰变数据包括产物核的衰变半衰期、 $\gamma$  衰变分支比以及确定产物核的特征  $\gamma$  射线时所用衰变纲图。

本工作表明在活化反应截面评价中必须充分考虑核衰变数据的作用和影响。核衰变数据的不准确性有时是造成活化反应截面彼此间分歧的主要因素。

### 参考文献 (References)

- 1 WANG Yong-Chang, YUAN Jun-Qiang. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 1992, **16**:731 (in Chinese)  
(王永昌,袁俊谦. 高能物理与核物理, 1992, **16**:731)
- 2 Ikeda Y et al. JAERI-M-91-032, 1991, 272
- 3 Csikai J et al. Ann. Nucl. Energy, 1991, **18**:1
- 4 Csikai J et al. INDC (NDS)-286, 1993
- 5 Ikeda Y et al. INDC (NDS)-342, 1995, 19
- 6 Smith S M et al. INDC (NDS)-342, 1995, 7
- 7 WANG Yong-Chang et al. INDC (NDS)-342, 1995, 37
- 8 Qaim S M et al. INDC (NDS)-342, 1995, 47
- 9 YU Wei-Xiang et al. INDC (NDS)-342, 1995, 41
- 10 LU Han-Lin et al. INDC (NDS)-342, 1995, 37
- 11 Meadows J M et al. Ann. Nucl. Energy, 1996, **23**:877
- 12 Filatenkov A A et al. INDC (CCP)-402, 1997
- 13 Khurana C S et al. Nucl. Phys., 1961, **28**:560
- 14 Karam R A et al. AD-402668, 1963
- 15 Druzhinin A A et al. Report YF-5, 1967, 18
- 16 FAN Tie-Shuang et al. Chinese J. Nucl. Phys., 1992, **14**:331
- 17 Baglin C M. Nucl. Data Sheets, 1997, **82**:1

- 18 Prestwood R J et al. Phys. Rev., 1961, **121**:1438
- 19 Bormann M et al. Nucl. Phys., 1968, **A115**:309
- 20 Ryves T B et al. J. of Phys., 1980, **G6**:771
- 21 Ikeda Y et al. JAERI-1312, 1988
- 22 ZHAO Wen-Rong et al. INDC (CPR)-16, 1989
- 23 HUANG Xiao-Long et al. INDC (CPR)-045, 1998
- 24 Ryves T B et al. J. of Phys., 1980, **G6**:763
- 25 Brown H N et al. Phys. Rev., 1951, **84**:292
- 26 Gallagher C J et al. Nucl. Phys., 1962, **33**:285

### Study of the Influence of Decay Data in Activation Reaction Cross Section

HUANG Xiao-Long<sup>1)</sup> LU Han-Lin

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract** The effect of the decay data on the measured activation cross section is investigated carefully and testified by several examples. These decay data include the half-life of the product,  $\gamma$  branching ratio of the product and decay scheme. Present work shows that these effects must be considered carefully when evaluating the activation reaction cross section. Sometimes they are main reason for causing the discrepancies among the experimental data.

**Key words** activation reaction cross section, nuclear data evaluation, nuclear decay data