

# $^{59}\text{Co}(n, p)^{59}\text{Fe}$ , $^{59}\text{Co}(n, \alpha)^{56}\text{Mn}$ , $^{59}\text{Co}(n, 2n)^{58}\text{Co}$ 反应截面的测量

李庭晏 施兆民

(北京大学技术物理系)

卢涵林 赵文荣 于伟翔 袁遐林

(中国原子能科学研究院, 北京)

## 摘 要

本实验用活化法测量了中子能量在 12.8 MeV 到 17.8 MeV 的  $^{59}\text{Co}(n, p)^{59}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)^{56}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Co}(n, 2n)^{58}\text{Co}$  三个反应道的反应截面值, 实验的测量误差在 3.3%—6.9% 范围内。

本文还计算了反应截面测量误差的协方差矩阵, 并将实验测量值与理论计算值进行了比较。另外, 还对上述三个反应道的截面进行编评, 给出了推荐的激发曲线。

## 一、引 言

钴元素是合金材料的一种重要组成元素, 广泛应用于反应堆材料及防护屏蔽材料中。根据 1986 年 IAEA 咨询组会议 (东德 Gaussing) 提出的当今 D-T 聚变反应核数据的需要, 我们测量了当前还不能满足聚变堆设计要求的 Co 元素的一些数据。由于  $^{59}\text{Co}(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, 2n)$  反应会在金属材料中产生氢气和氦气, 造成金属材料的疏松和脆化, 因此准确测量这几个反应的反应截面, 对更好地确定中子对金属材料的损伤是很重要的。另外, 这些实验数据对于检验核反应理论模型也是有意义的。

$^{59}\text{Co}(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, 2n)$  反应截面的测量以前也有人做过。在图 1—3 中绘出了这三个反应道各家测量情况。由图可以看出, 对  $^{59}\text{Co}(n, p)$  反应截面, 在

$$E_n = 13-15\text{MeV}$$

能区有几家测量数据分歧较大, 而在  $E_n = 15-20\text{MeV}$  能区测量点很少。对于  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)$  反应截面, 在  $E_n = 13-16\text{MeV}$  能区存在分歧。对于  $^{59}\text{Co}(n, 2n)$  反应截面在

$$E_n = 13-16\text{MeV}$$

能区分歧较大, 在 15 MeV 附近有两家测量值相差二倍。因此有必要对这些反应道的反

反应截面进行测量,以得到更准确的结果。另一方面,在核工程设计中,为了正确估计计算

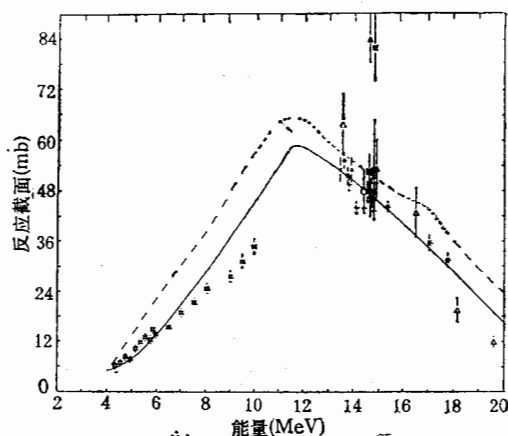


图 1  $^{59}\text{Co}(n, p)^{59}\text{Fe}$  反应截面测量值理论计算曲线及推荐曲线

\*Preiss (60)<sup>[123]</sup>

○F. L. Hassler (62)<sup>[133]</sup>

△J.M.F. Jeronimo(60)<sup>[143]</sup>

田H. K. Vonach (65)<sup>[153]</sup>

#D. L. Smith (75)<sup>[163]</sup>

△J. Dresler (76)<sup>[173]</sup>

⊠K. Fukuda (78)<sup>[183]</sup>

+B. M. Bahal (85)<sup>[193]</sup>

□I. Gârlea (85)<sup>[203]</sup>

≡M. Berrada (85)<sup>[223]</sup>

≡S. J. Hasan (86)<sup>[213]</sup>

⊗Y. Ikeda (88)<sup>[233]</sup>

\*本工作

---理论计算曲线

— 编译曲线

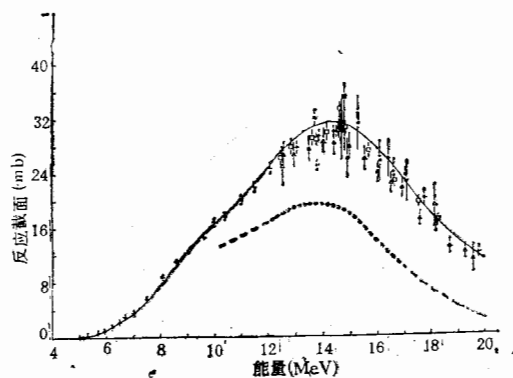


图 2  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)^{56}\text{Mn}$  反应截面测量值理论计算曲线及推荐曲线

#Preiss (60)<sup>[123]</sup>

△J.M.F. Jeronimo (63)<sup>[143]</sup>

+D. C.Santry(63)<sup>[243]</sup>

\*Strain (65)<sup>[253]</sup>

△A. Paulsen (65)<sup>[263]</sup>

≡S. K. Ghorai (78)<sup>[273]</sup>

□黄建周(82)<sup>[283]</sup>

○H. M. Agrawal (84)<sup>[293]</sup>

田I. Gârlea (85)<sup>[203]</sup>

⊠B. M. Bahal (85)<sup>[193]</sup>

≡M. Berrada (85)<sup>[223]</sup>

⊗Y. Ikeda (88)<sup>[233]</sup>

\*本工作

---理论计算曲线

— 编译曲线

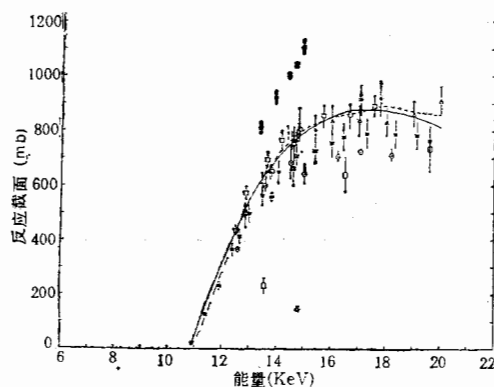


图 3  $^{59}\text{Co}(n, 2n)^{58}\text{Co}$  反应截面测量值理论计算值及推荐曲线

△Preiss(60)<sup>[123]</sup>

○J. H. F. Jeronimo(63)<sup>[143]</sup>

\*A. Paulsen (65)<sup>[263]</sup>

⊗Strain (65)<sup>[253]</sup>

◇S. Okumura (67)<sup>[303]</sup>

⊕F. Decowski (68)<sup>[313]</sup>

#J. Frehault (74)<sup>[323]</sup>

⊠J. Dresler (76)<sup>[173]</sup>

△L. R. Veaser (77)<sup>[333]</sup>

○K. Fukuda (78)<sup>[183]</sup>

□黄建周(82)<sup>[283]</sup>

≡I. Gârlea (85)<sup>[203]</sup>

田B. M. Bahal (85)<sup>[223]</sup>

≡M. Berrada (85)<sup>[193]</sup>

+S. J. Hasan (86)<sup>[213]</sup>

\*本工作

---理论计算曲线

— 编译曲线

量的误差,不仅要求所测截面的误差,而且要求给出截面误差的协方差矩阵。目前国际上已在进行此项工作,因此我们也把这几个反应截面的实验测量进行分析,计算得出协方差矩阵。

## 二、实验测量

用活化法完成上述截面的测量。中子通量用  $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$  反应截面<sup>[1]</sup>作为相对标准测定。

测量中以  $\text{T}(d, n)^4\text{He}$  反应产生 12.7—17.8MeV 能区中子, 氘束由 600kV 高压倍加器和 2.5MV 静电加速器提供。在高压倍加器上 d 核能量为 200keV, 流强在  $45\mu\text{A}$  左右, 束斑直径为 0.8cm。在静电加速器上, d 核能量分别为 1.343MeV、1.814MeV 和 2.095MeV, 流强在  $15\mu\text{A}$  左右, 束斑直径为 0.3cm。中子通量由长中子管进行监测。

靶样品为天然同位素组份的金属, 纯度好于 99.9%, 制成直径约 20mm, 厚度约 1.1mm, 重约 2900mg 的圆片, 夹在同样尺寸的铝圆片中(铝片重量约 150mg)进行照射。样品到 neutron 源的距离为 2—4cm, 靶与束流成  $0^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 120^\circ$  等角度。由于高压倍加器所产生的中子通量大, 故在 13—15MeV 能区尽量用高压倍加器所产生的中子照射。在 13MeV 以下和 15MeV 以上的能区, 则用静电加速器产生的中子照射。辐照时间在 10 小时左右。

辐照后的样品冷却一段时间后, 用  $130\text{cm}^3$  的  $\text{Ge}(\text{Li})$   $\gamma$  探测器对剩余核的  $\gamma$  射线进行测量, 对于少数 Al 样品剩余核的  $\gamma$  射线也采用直径 80mm, 高为 80mm 的  $\text{NaI}(\text{Tl})$  探测器测量。对  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)$  反应冷却时间在 10 小时左右。对  $^{59}\text{Co}(n, p)$ ,  $^{59}\text{Co}(n, 2n)$  反应, 冷却时间在 6—8 天。探测器用 0.1MeV—1.5MeV 的系列标准源进行刻度, 并用最小二乘法计算其效率曲线。

实验中所测的几种反应道剩余核及它们的半衰期<sup>[2]</sup>、 $\gamma$  射线能量和强度<sup>[3]</sup>列于表 1 中。

表 1 被测剩余核的半衰期及  $\gamma$  射线

反应道	剩余核	半衰期	能量	强度
$^{27}\text{Al}(n, \alpha)$	$^{24}\text{Na}$	15.02h	1.368MeV	99.994%
$^{59}\text{Co}(n, p)$	$^{59}\text{Fe}$	44.496d	1.099MeV	56.5%
$^{59}\text{Co}(n, \alpha)$	$^{56}\text{Mn}$	2.578h	0.847MeV	98.9%
$^{59}\text{Co}(n, 2n)$	$^{58}\text{Co}$	70.916d	0.811MeV	99.45%

根据所测得的  $\gamma$  谱, 得到相应的全能峰单位时间计数, 对探测器探测效率、级联效应、 $\gamma$  射线在样品中自吸收、 $\gamma$  射线强度、中子在样品及靶头上散射、中子通量波动等因素进行修正后, 可得到被测的反应截面  $\sigma$  为:

$$\sigma = \sigma_0 \frac{N_\gamma \cdot e^{\lambda t} \cdot M_0 \cdot \epsilon_0 \cdot g_0 \cdot I_0 \cdot f_0 \cdot K_0 \cdot S_0 \cdot S'_0}{N_{\gamma_0} \cdot e^{\lambda t_0} \cdot M \cdot \epsilon \cdot g \cdot I \cdot f \cdot K \cdot S \cdot S'} \quad (1)$$

其中以下标“0”表示作为相对标准 Al 片的各项量。式中各项量为:

- $\sigma$ : 反应截面  
 $N_T$ : 所测  $\gamma$  射线的全能峰单位时间计数  
 $\lambda$ : 剩余核的衰变常数  
 $t$ : 冷却时间  
 $M$ : 样品中的靶核数  
 $\epsilon$ : 全能峰探测效率  
 $g$ : 级联修正  
 $I$ :  $\gamma$  射线强度  
 $f$ : 样品对  $\gamma$  射线的自吸收修正  
 $K$ : 中子通量波动因子  
 $S$ : 中子在样品中的散射校正  
 $S'$ : 中子在靶头上的散射校正  
 中子通量波动因子  $K$  为:

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

其中各项的意义是: 将整个照射时间分为  $l$  段, 每段时间间隔为  $\Delta t_i$ ,  $T_i$  为此时间间隔到照射结束的时间,  $\phi_i$  为  $\Delta t_i$  内的相对中子通量,  $T$  为全部辐照时间,  $\Phi$  为  $T$  内的相对中子通量平均值。

### 三、实验结果

由所测得的各项按公式 (1) 可得到  $^{59}\text{Co}(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, 2n)$  反应在中子能量 12.8—17.8 MeV 的反应截面, 所测结果列在表 2 中。

表 2  $^{59}\text{Co}(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$ ,  $(n, 2n)$  截面测量结果

截面 (mb) 能量 (MeV)	反应道		
	$^{59}\text{Co}(n, p)$	$^{59}\text{Co}(n, \alpha)$	$^{59}\text{Co}(n, 2n)$
12.84 ± 0.34			490.0 ± 26.8
13.60 ± 0.30	55.3 ± 2.4		640.0 ± 26.1
13.74 ± 0.11	51.7 ± 2.6	32.0 ± 1.1	649.0 ± 32.4
14.60 ± 0.22	48.3 ± 2.1	30.4 ± 1.0	761.0 ± 40.7
14.72 ± 0.26	45.7 ± 1.9	31.3 ± 1.1	764.0 ± 42.1
14.81 ± 0.30	47.8 ± 2.4		816.0 ± 51.1
15.37 ± 0.44	44.2 ± 2.3		804.0 ± 54.6
16.42 ± 0.60		25.8 ± 1.2	
17.04 ± 0.17	35.5 ± 2.2	23.4 ± 0.8	913.0 ± 61.1
17.77 ± 0.18	31.4 ± 2.0	20.0 ± 1.1	918.0 ± 63.1

各反应道的各项误差及在各能点各项误差间的关联系数  $M$  列于表 3 中。

由(1)式可知,入射中子能量  $E_i$  相应的反应截面  $\sigma_i$  是  $\sigma_0, N_T, M, \varepsilon, g, I, f, K, S, S', N_{T_0}, M_0, \varepsilon_0, g_0, I_0, f_0, K_0, S_0, S'_0$  等参数的函数. 设它们有  $L$  个参数,第

表3  $^{59}\text{Co}(n,p), ^{59}\text{Co}(n,\alpha), ^{59}\text{Co}(n,2n)$  截面的主要误差项及关联系数

误差项	符号	误差 (%)			误差关联系数 $M$
		$^{59}\text{Co}(n,p)$	$^{59}\text{Co}(n,\alpha)$	$^{59}\text{Co}(n,2n)$	
剩余核 $\gamma$ 计数统计	$\Delta N_T$	0.6—3	0.6—3.6	0.1—1.5	0
$^{24}\text{Na}$ $\gamma$ 计数统计	$\Delta N_{T_0}$	0.5—2.7	0.5—2.8	0.5—3.7	0
剩余核 $\gamma$ 探测效率	$\Delta \varepsilon$	3.8	1.0	1.0	1
$^{24}\text{Na}$ $\gamma$ 探测效率	$\Delta \varepsilon_0$	1.0	1.0	1.0	1
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$ 截面	$\Delta \sigma_0$	0.4—2.1	0.4—2.1	0.4—3.1	a
剩余核 $\gamma$ 在样品中自吸收校正	$\Delta f_i$	1.0	1.0	1.0	1
$^{24}\text{Na}$ $\gamma$ 在样品中自吸收校正	$\Delta f_{i_0}$	0.1	0.1	0.1	1
中子通量在剩余核波动校正	$\Delta K$	0.07—0.09	0.3—0.6	0.05—0.07	0—1
中子通量在 $^{24}\text{Na}$ 中波动校正	$\Delta K_0$	0.15—0.3	0.15—0.3	0.1—0.3	0—1
靶核数目	$\Delta M$	0.0033—0.0075	0.0033—0.006	0.0033—0.0075	0.5
$^{27}\text{Al}$ 靶核数目	$\Delta M_0$	0.012—0.015	0.012—0.015	0.013—0.015	0.5
中子在靶头上散射校正	$\Delta S', \Delta S'_0$	0.1	0.1	0.15	0—1
中子在样品中散射校正	$\Delta S, \Delta S_0$	0.1	0.1	0.1	0—1
中子能散引起误差	$\Delta E$	0.1—3.2	2.3—10.2	1.5—6.1	0—1

a: 关联系数由 S. Tagesen<sup>[3]</sup> 给出.

$l$  个参量的误差为  $e_{il}$ , 对于入射中子能量为  $E_j$ , 相应的第  $l$  个参量的误差为  $e_{jl}$ , 它们间的关联系数为  $M_{ijl}$ , 则  $\sigma_i, \sigma_j$  间的协方差矩阵  $V_{ij}$  为<sup>[4]</sup>:

$$V_{ij} = \sum_{l=1}^L M_{ijl} e_{il} e_{jl}, \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

其中  $n$  表示在  $n$  个能点进行了测量. 对于某一能点  $E_i$  的截面误差  $\Delta \sigma_i$  为:

$$\Delta \sigma_i = \sqrt{V_{ii}}. \quad (3)$$

由(2), (3)式可计算得截面误差相对协方差矩阵  $C_{ij}$  为:

$$C_{ij} = V_{ij} / \Delta \sigma_i \cdot \Delta \sigma_j. \quad (4)$$

表4, 表5, 表6中列出了这三个反应截面的误差相对协方差矩阵.

表4  $^{59}\text{Co}(n,p)$  截面误差相对协方差矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	$E_n(\text{MeV})$
1	1.00								13.60
2	0.78	1.00							13.74
3	0.87	0.76	1.00						14.60
4	0.90	0.78	0.88	1.00					14.72
5	0.76	0.66	0.75	0.77	1.00				14.81
6	0.75	0.65	0.74	0.76	0.64	1.00			15.37
7	0.61	0.53	0.60	0.61	0.53	0.55	1.00		17.04
8	0.61	0.53	0.60	0.62	0.53	0.55	0.62	1.00	17.77

表 5  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)$  截面误差相对协方差矩阵

	1	2	3	4	5	6	$E_n(\text{MeV})$
1	1.00						13.74
2	0.56	1.00					14.60
3	0.50	0.80	1.00				14.72
4	0.24	0.50	0.48	1.00			16.42
5	0.20	0.39	0.36	0.67	1.00		17.04
6	0.11	0.22	0.23	0.43	0.51	1.00	17.77

表 6  $^{59}\text{Co}(n, 2n)$  截面误差相对协方差矩阵

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$E_n(\text{MeV})$
1	1.00									12.84
2	0.32	1.00								13.60
3	0.28	0.72	1.00							13.74
4	0.27	0.73	0.69	1.00						14.60
5	0.26	0.58	0.65	0.93	1.00					14.72
6	0.24	0.67	0.64	0.93	0.93	1.00				14.81
7	0.22	0.56	0.54	0.79	0.86	0.83	1.00			15.37
8	0.13	0.32	0.31	0.51	0.77	0.63	0.62	1.00		17.04
9	0.10	0.21	0.20	0.36	0.37	0.39	0.47	0.74	1.00	17.77

#### 四、理论计算

为了将我们的实测截面与理论进行比较,我们用 HFTT 程序<sup>[5]</sup>进行了理论计算。该程序是基于包括平衡前发射的统计理论<sup>[6]</sup>,平衡前发射部分采用激子模型,平衡后发射采用蒸发模型,计算中所取的各项参数为:初始激子数  $n_0 = 3(2p, 1h)$ ,激子跃迁矩阵可调参数  $K = 200$ ,能级密度取自 Gilbert-Cameron<sup>[7]</sup> 公式,光学势参数对于 n, p 取 F. Beccchetti<sup>[8]</sup> 推荐值,对于 d, t,  $^3\text{He}$  取 F. Perey<sup>[9]</sup> 推荐值, $^4\text{He}$  取 Mefadden<sup>[10]</sup> 推荐值。

理论计算与本实验结果的比较绘在图 1, 图 2 与图 3 中,由图可看出  $^{59}\text{Co}(n, p)$ ,  $^{59}\text{Co}(n, 2n)$  反应截面的理论值与实验符合较好,对于  $^{59}\text{Co}(n, \alpha)$  反应截面,理论比实验值偏低,其原因可能是我们所采用的理论模型中关于  $\alpha$  粒子形成因子中只考虑了费米面以上核子形成  $\alpha$  粒子,而未考虑费米面上和费米面以下核子也可以形成  $\alpha$  粒子<sup>[11]</sup>。若考虑此因素,可望改善理论与实验的符合程度,这有待于进一步的工作。

## 五、结果的评述

我们对到目前为止可能收集到的实验数据进行了评价推荐。将所收集数据的相对标准截面、 $\gamma$ 射线强度和半衰期进行修正,并在14.7MeV能量处归一,然后根据各家数据的实验误差给出不同的权重,计算从阈能到20MeV能量激发曲线。

$^{59}\text{Co}(n, p)^{59}\text{Fe}$  反应。此反应道的实验数据较少,测量值在14MeV附近分数,最大相差100%。但从1985年以后发表的5家数据来看,除Berrada<sup>[22]</sup>的以外,我们认为其余几家的数据还是比较一致的,与本工作的测量结果也是相符的,这为我们在14MeV附近的编评打下了基础。在14.7MeV附近,我们的推荐结果比ENDF/B-V, ANLNOM-89和BOSPOR的都低,但与近年来的测量更为吻合。

比较遗憾的是,在10—12MeV能区没有实验数据,我们只能参考理论计算的结果给出推荐值。在4—10MeV能区以D. L. Smith<sup>[16]</sup>的数据为基础,考虑到在7—10MeV能区Smith的测量有普遍偏低的现象,编评时也参考了理论计算值。在15—20MeV能区,主要是本工作测量的三个点,显得数据不够充足,编评误差大,这有待于在今后的工作中完善。

$^{59}\text{Co}(n, \alpha)^{56}\text{Mn}$  反应。此反应道测量数据多,一致性也较好,但近期又有H. M. Agrawal<sup>[29]</sup>, I. Gârlea<sup>[20]</sup>, B. M. Bahaj<sup>[19]</sup>, M. Berrada<sup>[22]</sup>, Y. Ikeda<sup>[23]</sup>和本工作的数据,除I. Gârlea数据明显偏高和M. Berrada的数据明显偏低外,近期的数据在14.7MeV附近比较一致,由我们的推荐曲线可以看出,近期的数据总的来讲比早期略有抬高。

在12—20MeV能区,我们以黄建周<sup>[28]</sup>, S. K. Ghorai<sup>[27]</sup>, D. C. Santry<sup>[24]</sup>, A. Paulsen<sup>[26]</sup>, J. M. F. Jeronymo<sup>[14]</sup>等人的数据为依据,确定激发曲线走向。在阈到11MeV能区,相对走向以Santry<sup>[24]</sup>的测量结果为基础。

表7  $^{59}\text{Co}(n, p)$  反应截面推荐值

中子能量 (MeV)	反应截面 (mb)	中子能量 (MeV)	反应截面 (mb)
4.0	5.01±0.40	14.0	50.42±1.5
4.5	6.01±0.48	14.2	49.48±1.5
5.0	7.96±0.64	14.5	48.02±0.96
6.0	13.7±1.1	14.7	47.03±0.94
7.0	20.9±1.7	14.8	46.53±0.92
8.0	28.8±5.8	15.0	45.51±1.4
9.0	37.2±7.4	15.5	42.9±2.6
10.0	45.7±9.1	16.0	40.2±2.4
11.0	54.3±10.9	16.5	37.4±2.2
11.5	58.6±11.7	17.0	34.5±2.1
12.0	58.5±11.7	17.5	31.6±1.9
12.5	56.7±3.4	18.0	28.7±1.7
13.0	54.8±3.2	19.0	22.6±4.5
13.5	52.7±3.2	20.0	16.4±3.3

表8  $^{59}\text{Co}(n,\alpha)$  反应截面推荐值

中子能量 (MeV)	反应截面(mb)	中子能量 (MeV)	反应截面 (mb)
5.02	$0.144 \pm 0.022$	14.0	$31.14 \pm 0.75$
5.5	$0.32 \pm 0.06$	14.2	$31.24 \pm 0.75$
6.5	$2.24 \pm 0.18$	14.4	$31.35 \pm 0.75$
7.0	$3.53 \pm 0.17$	14.6	$31.24 \pm 0.75$
7.4	$4.90 \pm 0.17$	14.7	$31.14 \pm 0.69$
8.0	$7.59 \pm 0.26$	14.8	$31.03 \pm 0.74$
8.4	$9.60 \pm 0.47$	15.0	$30.72 \pm 0.78$
9.0	$12.5 \pm 1.0$	15.4	$29.7 \pm 0.8$
9.4	$14.2 \pm 1.3$	16.0	$27.4 \pm 0.9$
10.0	$16.5 \pm 1.4$	16.4	$25.7 \pm 0.8$
10.4	$17.9 \pm 1.3$	17.0	$22.7 \pm 0.7$
11.0	$20.2 \pm 1.2$	17.4	$20.6 \pm 0.7$
11.4	$21.9 \pm 1.0$	18.0	$17.8 \pm 0.7$
12.0	$24.6 \pm 1.0$	18.5	$15.7 \pm 0.6$
12.4	$26.7 \pm 0.8$	19.0	$13.9 \pm 0.9$
13.0	$28.9 \pm 0.7$	19.5	$12.4 \pm 1.0$
13.4	$30.1 \pm 0.7$	20.0	$11.0 \pm 1.1$

表9  $^{59}\text{Co}(n,2n)$  反应截面推荐值

中子能量 (MeV)	反应截面 (mb)	中子能量(MeV)	反应截面(mb)
10.91	$20.0 \pm 6.0$	15.0	$796.0 \pm 13.8$
11.0	$45.9 \pm 13.8$	15.5	$828.5 \pm 25.6$
11.5	$184.3 \pm 14.5$	16.0	$851.9 \pm 26.3$
12.0	$313.7 \pm 20.3$	16.5	$867.2 \pm 26.8$
12.5	$435.1 \pm 13.2$	17.0	$875.4 \pm 27.0$
13.0	$549.0 \pm 13.8$	17.5	$877.3 \pm 27.2$
13.5	$631.3 \pm 15.9$	18.0	$873.5 \pm 27.0$
14.0	$698.9 \pm 17.7$	18.5	$864.7 \pm 26.8$
14.2	$722.1 \pm 12.5$	19.0	$851.5 \pm 60.2$
14.5	$753.3 \pm 13.0$	19.5	$834.4 \pm 59.0$
14.7	$772.1 \pm 9.3$	20.0	$813.7 \pm 57.5$
14.8	$780.2 \pm 13.5$		

$^{59}\text{Co}(n,2n)^{58m+g}\text{Co}$  反应. 此反应道从现有的数据来看,分歧最大. 在 14MeV 附近, 最小值为 150mb, 最大值为 1100mb. 从激发曲线走向来看, A. Paulsen<sup>[26]</sup> 等人的数据与黄建周<sup>[28]</sup>等人的数据有分歧. 本工作的测量结果与后者是一致的. 因此,激发曲线的编评以黄建周<sup>[28]</sup>、J. Frehault<sup>[32]</sup>、L. R. Veese<sup>[33]</sup> 及本工作的测量为基础进行.

由于 14MeV 附近激发曲线上升快,截面值与中子能量关系密切,因此数据显得分散些,但是大多数的实验值是在 650—820mb 之间,近几年又有不少新数据发表,其值基本都在 770mb 左右,这与我们的推荐值也是一致的.

以上三个反应道的各家数据情况以及我们的编评结果分别见图 1—3 和表 7—9.



## 参 考 文 献

- [1] S. Tagesen and H. Vonach, *Physics Data* 13—1(1981).  
 [2] Handbook on Nuclear Activation Data, IAEA 1987.  
 [3] 刘运祚等,《衰变纲图》,原子能出版社,1978.  
 [4] D. L. Smith, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.*, **A257**(1987), 365.  
 [5] 黄斐增,《北京大学学报》, **25**(1989), 289.  
 [6] C. K. Cline, *Nucl. Phys.*, **A193**(1972), 417.  
 [7] A. Gilbert and A. Cameron, *Can. J. Phys.*, **43**(1965), 1446.  
 [8] F. Becchetti and G. W. Greenless, *Phys. Rev.*, **182**(1969), 1190.  
 [9] F. G. Perey, *Atomic Data and Nucl. Data*, **15**(1975), 4.  
 [10] Mefadden, *Nucl. Phys.*, **84**(1966), 177.  
 [11] K. Sato, et. al., *Phys. Rev.*, **C28**(1983), 1527.  
 [12] Prells, *Nucl. Phys.*, **15**(1960), 326.  
 [13] F. L. Hassler, *Phys. Rev.*, **125**(1962), 1011.  
 [14] J. M. F. Jeronymo, *Nucl. Phys.*, **47**(1963), 157.  
 [15] H. K. Vonach, *Nucl. Phys.*, **48**(1963), 191.  
 [16] D. L. Smith, ANL/NDM-10, (1975).  
 [17] J. Dresler, INR-1464, (1976).  
 [18] K. Fukuda, NAEADC(J)-56/U, (1978).  
 [19] B. M. Bahal, GKSS-85/E/11, (1985).  
 [20] I. Gârlea, INDC(GDR)-34/GI, (1985).  
 [21] S. J. Hasan, *J. Phys.*, **G12**(1986), 397.  
 [22] M. Berrada, INDC(MOR)-003/GI, (1985).  
 [23] Y. Ikeda, JAERI 1312, (1988).  
 [24] D. C. Santry, *Canada, Jour. Phys.*, **42**(1963), 1030.  
 [25] Strain, ORNL-3672(2), (1965).  
 [26] A. Paulsen, *J. Nucl. Energy*, **19**(1965), 907.  
 [27] S. K. Ghosal, *Bull. Amer. Phys. Society*, **23**(1978), 526.  
 [28] 黄建周, *Chinese J. Nucl. Phys.*, **7**(1982), 242.  
 [29] H. M. Agrawal, *Amer. Nucl. Soc. Trans.*, **47**(1984), 431.  
 [30] S. Okumura, *Nucl. Phys.*, **A93**(1967), 74.  
 [31] F. Decowski, *Nucl. Phys.*, **A112**(1968), 513.  
 [32] J. Frehaut, CEA-R-4627(1974).  
 [33] L. R. Vesser, *Phys. Rev.*, **C16**(1977), 1792.

## THE CROSS-SECTION MEASUREMENTS FOR $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$ , $^{59}\text{Co}(n,\alpha)^{56}\text{Mn}$ AND $^{59}\text{Co}(n,2n)^{58}\text{Co}$ REACTIONS

LI TINGYAN SHI ZHAOMIN

(Peking University)

LU HANLIN ZHAO WENRONG YU WEIXIANG YUAN XIALIN

(Institute of Atomic Energy, Beijing)

### ABSTRACT

The cross sections of  $^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Co}(n,\alpha)^{56}\text{Mn}$  and  $^{59}\text{Co}(n,2n)^{58}\text{Co}$  reactions have been measured at neutron energy region of 12.8 MeV—17.8 MeV by activation method. The covariance matrix of measured errors was calculated, and the comparison between the values of measured and calculated using theory model was made. The evaluated excitation functions for the three reactions are given.