

卷

A.6)

A.7)

(1978).

raction
td Ltd.

en, May

ing, 2-

)LE

(GCM)
rom an
er con-
opically

14 MeV 中子的 (n, 2n) 反应截面 系统学研究¹⁾

姚立山 周恩臣 蔡敦九
(兰州大学) (中国原子能科学研究院)

摘 要

本文对1984年以前的 $A = 19-209$ 的124种核素的14MeV (n, 2n) 反应截面的实验数据进行了收集、分析和评价。研究了截面与 $(N-Z)/A$ 的关系。看不出有明显的中子壳效应存在。用复合核统计理论对一些核的反应截面进行了计算,对中重核和重核的计算结果与实验值符合较好。

一、引 言

(n, 2n) 反应是中子增殖反应,而14MeV中子引起的反应截面是核工程设计和核聚变装置研究需要的重要数据之一。由于实验条件的限制,一些重要核素的(n, 2n)反应截面目前尚不能进行测量,因此除了进行理论计算外,系统学的研究是很重要的。

关于(n, 2n)反应截面的系统学研究一直存在着两种不同的观点。

一些工作^[1-6]认为存在壳效应。如 Bormann 等人^[1]把核按照质子数的奇、偶属性分为两大类,发现在(n, 2n)反应截面对质量数 A 的描绘中,在反应截面的总趋向上叠加有某种明显的极小或极大值的结构。它相应于靶核是满中子壳层 ($N=20, 28, 50, 82, 126$) 的情况,即所谓的壳效应。Bormann 把这种现象解释为不同靶核反应 Q 值的不同和剩余核能级密度有壳效应的结果。Chetterjee 等人^[2]的研究认为,反应截面与过剩中子数 $(N-Z)_R$ 的描绘中出现极值是由于反应的激发能不一致,并指出应采用相同激发能时的(n, 2n)反应截面。

但是,另一些工作^[7-11]指出不存在壳效应。如 Qaim^[8]和 Lu^[9]的工作认为(n, 2n)反应截面对过剩中子份额 $(N-Z)/A$ 的描绘,总的趋向是一条光滑曲线,没有必要把靶核按照质子数的奇、偶分类。Hille^[7]用了几乎和 Bormann 完全相同的实验数据,却得到了相反的结论。

本工作以目前能得到的所有实验数据为基础,研究(n, 2n)反应截面的壳效应,并将由复合核统计理论计算的14.5MeV (n, 2n)反应截面与实验结果进行了比较。

¹⁾ 本工作由核工业部科技核电局资助。
该文于1986年3月4日收到。

二、(n,2n) 反应截面的壳效应问题

1. 实验数据的分析和评价

我们收集了 1984 年以前 14—15 MeV (n,2n) 反应截面的实验数据, 并利用激发函数归一到 14.5 MeV. 摒弃了 (n,2n) 反应中仅仅测量的亚稳态或具有亚稳态的剩余核的基态截面, 以及实验误差大于 20% 和未给误差的实验数据. 用 Ge(Li) 探测器和载钆大液体闪烁法测量精度较高, 结果较一致. 用正比计数器测 β 射线和 NaI(Tl) 测 γ 射线的工作, 由于探测器的分辨率较低及各种修正因素的影响, 结果误差较大. 对一些满中子壳层及其附近的一些核素如 ^{52}Cr , ^{54}Fe , ^{58}Ni , ^{89}Y , ^{90}Zr , ^{92}Mo , ^{136}Xe , ^{141}Pr 及 ^{208}Pb 等的核素作了较详细的分析.

2. 数据处理及拟合结果分析

在分析、评价的基础上, 加权平均得到诸核素的 (n,2n) 反应截面及误差列于表 1. $\sigma_{n,2n} \sim (N-Z)/A$ 的描绘示于图 1. 由图可见:

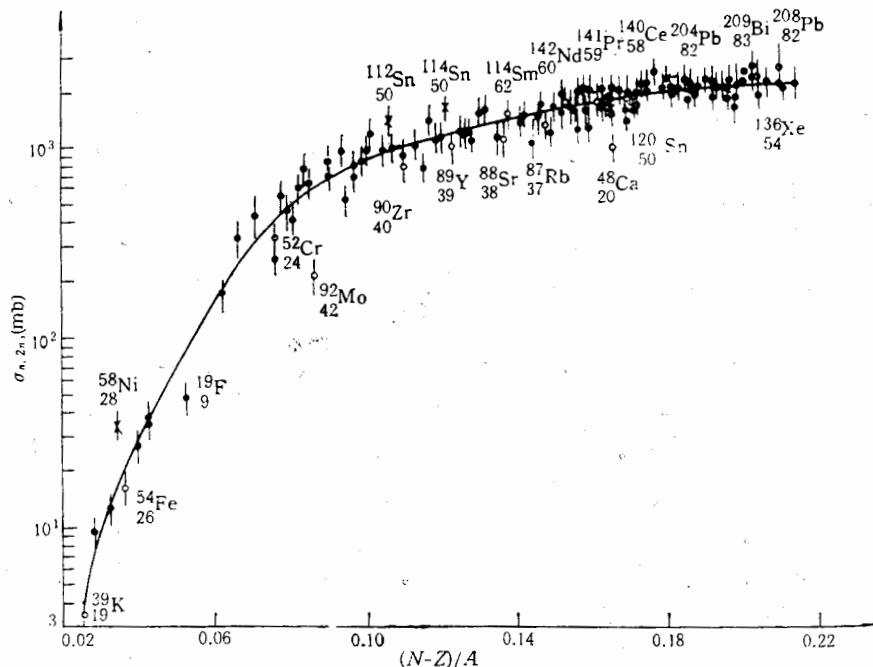


图 1 $\sigma_{n,2n} \sim (N-Z)/A$ 关系曲线

● 实验数据的权重平均值 ○ 幻中子核
× 幻质子核; — 拟合曲线

(1) $\sigma_{n,2n}$ 随 $(N-Z)/A$ 的增大而增大. 当 $(N-Z)/A \leq 0.08$ 时, 随 $(N-Z)/A$ 增大截面急剧上升, 这相当于较轻的核素和较高反应阈的靶核; 当 $(N-Z)/A > 0.08$ 时, 截面上升逐渐变缓. 截面的变化可用一条较光滑的拟合曲线来表示 (图 1 中实线).

表 1 评价和计算的 (n, 2n) 反应截面

核 素	$(N - Z)/A$	$B_1(\text{MeV})$	$\sigma_{n,2n}$ 评价值	(mb) 计算值
$^{19}_9\text{F}$	0.0526	10.431	45.4 ± 1.5	124
$^{23}_{11}\text{Na}$	0.0435	12.417	35.6 ± 6.4	42
$^{31}_{15}\text{P}$	0.0323	12.306	10.4 ± 0.6	3
$^{35}_{17}\text{Cl}$	0.0286	12.646	9.3 ± 0.7	0
$^{39}_{19}\text{K}$	0.0256	13.075	3.4 ± 0.1	0
$^{48}_{20}\text{Ca}$	0.1667	9.945	905 ± 95	868
$^{45}_{21}\text{Sc}$	0.0667	11.327	327 ± 7	289
$^{46}_{22}\text{Ti}$	0.0435	13.19	36.2 ± 1.2	47
$^{50}_{24}\text{Cr}$	0.04	13.0	26.2 ± 1.5	44
$^{52}_{24}\text{Cr}$	0.0769	12.039	322 ± 18	323
$^{55}_{25}\text{Mn}$	0.0909	10.227	810 ± 23	555
$^{54}_{26}\text{Fe}$	0.037	13.378	15.8 ± 0.7	20
$^{56}_{26}\text{Fe}$	0.0714	11.197	463 ± 36	362
$^{59}_{27}\text{Co}$	0.0847	10.453	763 ± 20	525
$^{58}_{28}\text{Ni}$	0.0345	12.196	34.3 ± 0.8	25
$^{63}_{29}\text{Cu}$	0.0794	10.854	523 ± 13	458
$^{65}_{29}\text{Cu}$	0.1077	9.909	950 ± 9	733
$^{64}_{30}\text{Zn}$	0.0625	11.861	165 ± 7	244
$^{66}_{30}\text{Zn}$	0.0909	11.06	681 ± 39	528
$^{70}_{30}\text{Zn}$	0.1429	9.214	1307 ± 130	938
$^{69}_{31}\text{Ga}$	0.1014	12.307	970 ± 41	669
$^{70}_{32}\text{Ge}$	0.0857	11.5376	632 ± 16	452
$^{76}_{32}\text{Ge}$	0.1579	9.428	1130 ± 44	1109
$^{75}_{33}\text{As}$	0.12	10.245	966 ± 36	874
$^{74}_{34}\text{Se}$	0.0811	12.075	393 ± 10	331

函数的基
大液
的工
壳层
了较

表 1.

Z)/
0.08
浅).

表 1 (续)

核 素	$(N - Z)/A$	$B_1(\text{MeV})$	$\sigma_{n,2n}$ 评价值	(mb) 计算值
$^{76}_{34}\text{Se}$	0.1053	11.161	909 ± 55	693
$^{78}_{34}\text{Se}$	0.1282	10.496	984 ± 44	909
$^{80}_{34}\text{Se}$	0.15	9.912	1056 ± 47	1099
$^{82}_{34}\text{Se}$	0.1707	9.266	1207 ± 36	1229
$^{79}_{35}\text{Br}$	0.1139	10.684	981 ± 13	821
$^{81}_{35}\text{Br}$	0.1358	10.157	1082 ± 33	1024
$^{78}_{36}\text{Kr}$	0.0769	11.985	245 ± 20	407
$^{80}_{36}\text{Kr}$	0.10	11.53	810 ± 60	635
$^{85}_{37}\text{Rb}$	0.1294	10.478	1049 ± 30	995
$^{87}_{37}\text{Rb}$	0.1494	9.929	1242 ± 37	1141
$^{84}_{38}\text{Sr}$	0.0952	11.976	512 ± 39	585
$^{86}_{38}\text{Sr}$	0.1163	11.489	738 ± 27	736
$^{88}_{38}\text{Sr}$	0.1364	11.113	1003 ± 118	965
$^{89}_{39}\text{Y}$	0.1236	11.469	940 ± 18	838
$^{90}_{40}\text{Zr}$	0.1111	11.976	750 ± 16	704
$^{96}_{40}\text{Zr}$	0.1667	7.852	1456 ± 80	1325
$^{93}_{41}\text{Nb}$	0.1183	8.832	1322 ± 52	1013
$^{92}_{42}\text{Mo}$	0.087	12.68	205 ± 8	462
$^{100}_{42}\text{Mo}$	0.16	8.291	1707 ± 44	1323
$^{96}_{44}\text{Ru}$	0.0833	10.694	587 ± 25	666
$^{98}_{44}\text{Ru}$	0.102	10.22	1169 ± 96	871
$^{103}_{44}\text{Ru}$	0.1456	6.232	957 ± 57	1265
$^{104}_{44}\text{Ru}$	0.1538	8.909	1440 ± 80	1307
$^{103}_{45}\text{Rh}$	0.1262	9.319	1218 ± 36	1119
$^{102}_{46}\text{Pd}$	0.098	10.568	764 ± 40	819

表 1 (续)

核 素	$(N - Z)/A$	$B_1(\text{MeV})$	$\sigma_{n,2n}$ 评价值	(mb)计算值
$^{110}_{46}\text{Pd}$	0.1636	8.8	1644 ± 82	1383
$^{107}_{47}\text{Ag}$	0.1215	9.546	1087 ± 44	1103
$^{106}_{48}\text{Cd}$	0.0943	10.867	934 ± 49	807
$^{108}_{48}\text{Cd}$	0.1111	10.335	865 ± 100	999
$^{110}_{48}\text{Cd}$	0.1274	9.88	1121 ± 150	1147
$^{116}_{48}\text{Cd}$	0.1724	8.696	1453 ± 54	1478
$^{113}_{49}\text{In}$	0.1327	9.444	1495 ± 81	1222
$^{112}_{50}\text{Sn}$	0.1071	10.789	1349 ± 76	960
$^{114}_{50}\text{Sn}$	0.1228	10.299	1591 ± 79	1121
$^{120}_{50}\text{Sn}$	0.1667	9.106	1444 ± 120	1472
$^{121}_{51}\text{Sb}$	0.157	9.239	1472 ± 41	1422
$^{123}_{51}\text{Sb}$	0.1707	8.965	1437 ± 47	1518
$^{122}_{52}\text{Te}$	0.1475	9.867	1615 ± 110	1351
$^{128}_{52}\text{Te}$	0.1875	8.778	1661 ± 161	1631
$^{130}_{52}\text{Te}$	0.20	8.413	1455 ± 55	1697
$^{127}_{53}\text{I}$	0.1654	9.14	1652 ± 60	1512
$^{124}_{54}\text{Xe}$	0.129	10.23	1043 ± 70	1220
$^{126}_{54}\text{Xe}$	0.1429	10.13	1346 ± 102	1348
$^{128}_{54}\text{Xe}$	0.1563	9.617	1530 ± 170	1459
$^{134}_{54}\text{Xe}$	0.194	8.534	1698 ± 170	1696
$^{136}_{54}\text{Xe}$	0.2059	7.99	1700 ± 100	1760
$^{133}_{55}\text{Cs}$	0.1729	8.986	1558 ± 67	1589
$^{132}_{56}\text{Ba}$	0.1515	9.799	1574 ± 100	1450
$^{136}_{58}\text{Ce}$	0.1471	10.02	1395 ± 77	1429
$^{138}_{58}\text{Ce}$	0.1594	9.72	1916 ± 188	1520

表 1 (续)

核素	$(N-Z)/A$	$B_1(\text{MeV})$	$\sigma_{n,2n}$ 评价值	(mb) 计算值
$^{140}_{58}\text{Ce}$	0.1714	9.187	1775 ± 50	1615
$^{142}_{58}\text{Ce}$	0.1831	7.168	1780 ± 79	1701
$^{141}_{59}\text{Pr}$	0.1631	9.396	1639 ± 75	1569
$^{142}_{60}\text{Nd}$	0.1549	9.817	1697 ± 69	1510
$^{148}_{60}\text{Nd}$	0.1892	7.334	1770 ± 42	1767
$^{150}_{60}\text{Nd}$	0.20	7.379	1720 ± 40	1827
$^{144}_{62}\text{Sm}$	0.1389	10.524	1404 ± 53	1377
$^{154}_{62}\text{Sm}$	0.1948	7.968	1932 ± 106	1828
$^{150}_{63}\text{Eu}$	0.16	6.388	1180 ± 150	1620
$^{151}_{63}\text{Eu}$	0.1656	7.966	1728 ± 80	1659
$^{152}_{63}\text{Eu}$	0.1711	6.305	1870 ± 300	1697
$^{153}_{63}\text{Eu}$	0.1765	8.549	2047 ± 171	1731
$^{152}_{64}\text{Gd}$	0.1579	8.606	1867 ± 433	1615
$^{154}_{64}\text{Gd}$	0.1688	8.657	1883 ± 125	1693
$^{160}_{64}\text{Gd}$	0.20	7.452	1804 ± 82	1887
$^{159}_{65}\text{Tb}$	0.1824	8.133	1801 ± 117	1797
$^{156}_{66}\text{Dy}$	0.1538	9.441	1852 ± 143	1606
$^{158}_{66}\text{Dy}$	0.1646	9.056	1990 ± 167	1689
$^{160}_{66}\text{Dy}$	0.175	8.574	2016 ± 105	1761
$^{165}_{67}\text{Ho}$	0.1879	8.03	1978 ± 120	1859
$^{162}_{68}\text{Er}$	0.1605	9.209	1864 ± 69	1680
$^{164}_{68}\text{Er}$	0.1707	8.843	1642 ± 144	1756
$^{166}_{68}\text{Er}$	0.1807	8.474	2018 ± 98	1826
$^{169}_{69}\text{Tm}$	0.1834	8.034	1957 ± 40	1858
$^{168}_{70}\text{Yb}$	0.1667	9.054	1932 ± 145	1752

续)

表 1 (续)

算值	核 素	$(N - Z)/A$	$B_1(\text{MeV})$	$\sigma_{n,2n}$ 评价值	(mb) 计算值
	$^{170}_{70}\text{Yb}$	0.1765	8.469	2043 ± 72	1823
	$^{176}_{70}\text{Yb}$	0.2045	6.87	2139 ± 95	2001
	$^{175}_{71}\text{Lu}$	0.1886	7.669	1968 ± 66	1919
	$^{174}_{72}\text{Hf}$	0.1724	8.63	1886 ± 145	1822
	$^{176}_{72}\text{Hf}$	0.1818	8.09	2167 ± 91	1888
	$^{181}_{73}\text{Ta}$	0.1934	7.583	2113 ± 93	1977
	$^{180}_{74}\text{W}$	0.1778	8.412	2356 ± 176	1888
	$^{182}_{74}\text{W}$	0.1868	8.062	2100 ± 75	1948
	$^{186}_{74}\text{W}$	0.2043	7.199	1998 ± 98	2057
	$^{187}_{75}\text{Re}$	0.1979	7.366	1675 ± 168	2032
	$^{192}_{76}\text{Os}$	0.2083	7.558	2047 ± 152	2108
	$^{191}_{77}\text{Ir}$	0.1937	8.07	1878 ± 135	2031
	$^{193}_{77}\text{Ir}$	0.2021	7.765	2028 ± 77	2085
	$^{192}_{78}\text{Pt}$	0.1875	8.656	2031 ± 112	2001
	$^{198}_{78}\text{Pt}$	0.2121	7.561	1976 ± 92	2158
	$^{197}_{79}\text{Au}$	0.198	8.059	2162 ± 42	2085
	$^{196}_{80}\text{Hg}$	0.1837	8.87	1980 ± 160	1994
	$^{198}_{80}\text{Hg}$	0.1919	8.3	2142 ± 139	2058
	$^{203}_{80}\text{Hg}$	0.2118	5.993	2030 ± 140	2185
	$^{204}_{80}\text{Hg}$	0.2157	7.497	2098 ± 79	2203
	$^{203}_{81}\text{Tl}$	0.202	7.853	2104 ± 67	2138
	$^{204}_{82}\text{Pb}$	0.1961	8.394	1927 ± 84	2112
	$^{208}_{82}\text{Pb}$	0.2115	7.367	2153 ± 100	2211
	$^{209}_{83}\text{Bi}$	0.2057	7.461	2166 ± 54	2190

这与 Hille^[7], Qaim^[8], Lu^[9] 的结论相一致。

(2) 在研究的核素范围内 ($0.03 < (N - Z)/A < 0.22$), 绝大多数实验点都落在拟合曲线两侧。少数核如 ^{19}F , ^{58}Ni , ^{84}Sr 和 ^{92}Mo 等偏离较大, 这是由于它们具有较高的反应阈能 (分别为: 10.431, 12.196, 11.976, 12.68 MeV), 在 14.5 MeV, $\sigma_{n,2n}$ 正处于激发曲线的陡峭部分, 入射中子能量宽度稳定性以及竞争反应 $(n, n'\gamma)$, (n, p) , (n, np) 等会有较大的影响。

总之, 现有实验测量的 14 MeV $(n, 2n)$ 反应截面随 $(N - Z)/A$ 的变化没有明显的极大或极小 (即壳效应) 现象。应当说明的是本工作对一些重要核素的实验数据比 [1], [3] 有所更新如: ^{88}Sr ($N = 50$), ^{186}W , ^{208}Pb ($N = 128$) 等; 对另一些核如: ^{93}Nb , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{151}Eu 等用总的 $(n, 2n)$ 反应截面代替了工作 [1], [3] 中的部分截面值。这样使得原来 Bormann^[1], Chatterjee^[3] 的工作中出现极值的地方, 评价随 $(N - Z)/A$ 的变化基本上是一条光滑曲线。

三、 $(n, 2n)$ 反应截面的统计模型计算

1965 年 Pearlstein^[13] 按复合核统计模型理论, 假定入射中子与靶核形成的复合核在发射第一个中子以后, 余核的激发能仍大于靶核最后一个中子的分离能 B_1 时, 还要继续发射第二个中子。这样利用靶核中子分离能 B_1 , 能级密度和次级中子能谱等就可以计算 $\sigma_{n,2n}$ 与总的中子发射截面 $\sigma_{n,N}$ 之比:

$$\frac{\sigma_{n,2n}}{\sigma_{n,N}} = \frac{\int_0^{E_n - B_1} \varepsilon \sigma_c(\varepsilon) \exp[4a(E_n - \varepsilon)]^{1/2} d\varepsilon}{\int_0^{E_n} \varepsilon \sigma_c(\varepsilon) \exp[4a(E_n - \varepsilon)]^{1/2} d\varepsilon} \quad (1)$$

(1) 式中分母表示包括 (n, n') , $(n, 2n)$, $(n, 3n)$ 等反应的中子总发射几率, 分子表示 $(n, 2n)$ 反应的几率。一般认为复合核形成截面 σ_c 与能量 ε 无关。核能级密度参数 a 取自文献 [14] 经验公式:

$$a = 0.095(\bar{j}_N + \bar{j}_Z + 1)A^{2/3}, \quad (2)$$

a 的单位为 McV^{-1} 。靶核最后一个中子的分离能 (B_1) 取自文献 [15]。于是 $\sigma_{n,2n}$ 可以写成:

$$\sigma_{n,2n} = \sigma_{n,c} \left(\frac{\sigma_{n,N}}{\sigma_{n,c}} \right) \left(\frac{\sigma_{n,2n}}{\sigma_{n,N}} \right), \quad (3)$$

其中, $\sigma_{n,c}$ 是靶核去弹性散射截面, 包括 (n, n') , $(n, 2n)$, $(n, 3n)$, (n, x) , (n, γ) 等反应截面, 计算公式取自文献 [16],

$$\sigma_{n,c} = \pi(0.12A^{1/3} + 0.21)^2, \quad (4)$$

单位为靶。Barr^[17] 指出, $\sigma_{n,N}/\sigma_{n,c}$ 比值与过剩中子份额服从指数关系。

$$\frac{\sigma_{n,N}}{\sigma_{n,c}} = 1 - K \exp[-m(N - Z)/A] \quad (5)$$

这样利用 N, Z 系统学关系计算 $\sigma_{n,2n}$ 的问题就归结为用 $(n, 2n)$ 反应的实验结果, $\sigma_{n,2n}/\sigma_{n,N}$ 的复合核统计理论计算值及 $\sigma_{n,c}$ 的经验公式来确定 $\sigma_{n,N}/\sigma_{n,c}$ 中的 K 和

m 两个参数。

利用求得的 $\sigma_{n,n}/\sigma_{n,c}$ 对过剩中子份额 $(N-Z)/A$ 的描绘进行最小二乘拟合, 得到一组参数: $K = 1.362$, $m = 9.836$ (见图 2)。与工作[9, 12, 17]的比较见表 2。 K , m 参数的这种变化是由于我们用了新的实验数据。通过评价澄清和剔除了有问题的数据, 减小了测量数据间的弥散。

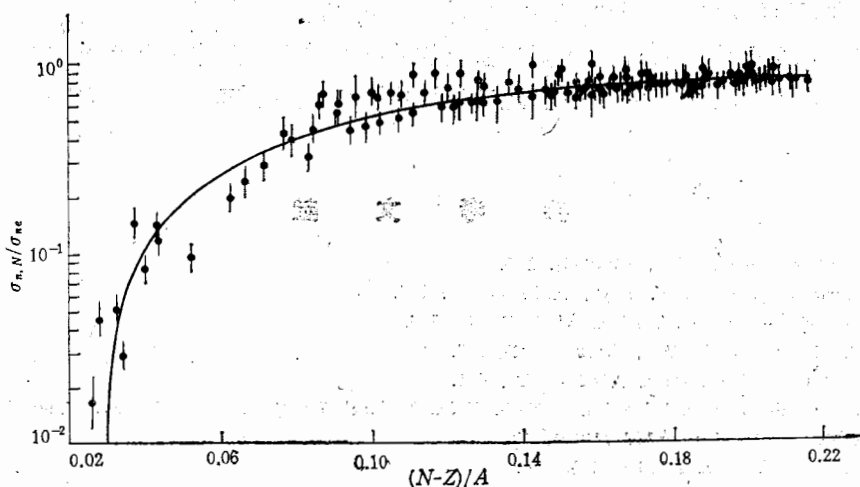


图 2 $\sigma_{n,n}/\sigma_{n,c} \sim (N-Z)/A$ 关系曲线 $\sigma_{n,n}/\sigma_{n,c} = 1 - K \exp[-m(N-Z)/A]$
其中 $K = 1.362$, $m = 9.836$

用这组 K , m 值计算了 $A = 9-209$ 的 124 个核素的 14.5 MeV 中子 (n, 2n) 反应截面。计算结果及所用参数也列于表 1 中。

表 2 几组 K, m 值比较

文 献	K	m
[9]	1.8124	12.99
[12]	1.365 ± 0.04	10.61 ± 0.49
[17]	1.754	18.14
本工作	1.362	9.836

从表 1 中计算结果和评价截面值的比较看出, 对中重核和重核符合较好, 而偏离实验值较大的仍是轻或较轻的核。此外, 对阈能较高的一些核如 ^{46}Ti (13.19 MeV), ^{50}Cr (13.0 MeV), ^{54}Fe (13.379 MeV), ^{58}Ni (12.196 MeV), ^{92}Mo (12.68 MeV) 等, 14 MeV 中子 (n, 2n) 反应截面正处在激发曲线的上升部分, 入射中子能量的不确定性会有较大的影响, 这种统计涨落要靠进一步提高实验测量精度来改进。对阈能较低的一些核如 ^{103}Rh (6.252 MeV), ^{140}Ce (7.169 MeV), ^{150}Eu (6.388 MeV), ^{176}Yb (6.87 MeV) 等在 14.5 MeV 有 (n, 3n) 反应相竞争, 在有的情况下应当扣除这部分的贡献。

当靶核发射第二个中子后, 剩余核的激发能仍大于 (n, 3n) 反应阈能时, 还会发射第三个中子。我们用 Pearlstein^[18] 给出的统计模型理论公式计算了 (n, 3n) 反应截面。

至于考虑平衡前发射和直接作用的影响, 有待今后进行。

四、小 结

从 14MeV 中子 ($n, 2n$) 反应截面的系统学研究中我们可以得到。

对满中子壳层 ($N = 20, 28, 50, 82, 126$) 的靶核, ($n, 2n$) 反应截面与过剩中子份额的描绘中, 从现有实验结果没有观察到明显的壳效应。

利用 14 MeV 中子 ($n, 2n$) 反应截面的系统学关系给出的一组参数 ($K = 1.362$, $m = 9.836$), 可以较好地预测一些尚未或者难以测量的中重或重的核素的 ($n, 2n$) 反应截面。

参 考 文 献

- [1] M. Bormann, *Nucl. Phys.*, **65**(1965), 257.
- [2] M. Bormann et al., *Nucl. Phys.*, **A130** (1969), 195.
- [3] S. Chatterjee et al., *Nucl. Phys.*, **A125**, (1969), 593.
- [4] L. G. Meretto, *Nucl. Phys.*, **A180** (1972), 337.
- [5] L. G. Meretto, *Nucl. Phys.*, **A182** (1972), 641.
- [6] Radiation Lab. of Shanghai Scien. & Tech. Univ., National 5th Conf. on Nucl. Phys., Chengdu (1982).
- [7] P. Hille, *Nucl. Phys.*, **A107** (1968), 49.
- [8] S. Qaim, *Nucl. Phys.*, **A185** (1972), 614.
- [9] Wen-deh Lu et al., *Phys. Rev.*, **C1** (1970), 350.
- [10] R. A. Sigg et al., *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **37** (1975), 631.
- [11] S. L. Sothras et al., *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **40**(1978), 585.
- [12] E. Kondaiah, *J. Phys.*, **A7** (1974), 1457.
- [13] S. Pearlstein, *Nucl. Sci. Eng.*, **23**(1965), 238.
- [14] N. N. Abdelmalek et al., *Nucl. Phys.*, **56** (1964), 601.
- [15] A. H. Wapstra et al., *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **19**(1977), 215.
- [16] N. N. Flerov et al., *J. Nucl. Energy*, **4**(1957), 529.
- [17] D. W. Barr et al., *Phys. Rev.*, **123**(1961), 859.
- [18] S. Pearlstein, *J. Nucl. Energy*, **27**(1973), 81.

A SYSTEMATIC STUDY OF ($n, 2n$) CROSS SECTION AT 14MeV*

YAO LI-SHAN ZHOU EN-CHEN CAI DUN-JIU
(Lanzhou University) (Institute of Atomic Energy)

ABSTRACT

The experimental ($n, 2n$) cross sections around 14 MeV have been collected, analyzed, and evaluated. Data were taken from 124 nuclei for $A=19-209$ up to the end of 1984. Relation between $\sigma_{n, 2n}$ and $(N-Z)/A$ has been studied. No neutron shell effect is found. The cross sections for some nuclei have been calculated by using a statistical theory. The good agreement with the experimental $\sigma_{n, 2n}$ at 14 MeV has been obtained in terms of a single set of fitting parameters.

* Supported by Science, Technique, and Nuclear Electricity Bureau, Ministry of Nuclear Industry, China.