

資料紹介

その3

An Analysis of the  $^{239}\text{Pu}$  Neutron Cross Sections from 20 keV to 20 MeV.

by A. Prince, M.K. Drake and P. Hlave, BNL 50388 (1973)

川合 将義 (NAIG)

$^{239}\text{Pu}$  の核データは、高速炉の核特性を記述する上で非常に重要な量である。臨界集合体などによる積分測定値を解析するために、この  $^{239}\text{Pu}$  核データの要求精度は、益々厳しくなっており、大抵の場合現在の測定精度を超えている。その端的な例として、非弾性散乱断面積が挙げられよう。この報告書は、ENDF/B-III のために 20 keV~20 MeV のエネルギー範囲の  $^{239}\text{Pu}$  の中性子断面積、特に弾性散乱および非弾性散乱断面積により焦点を合わせて系統的に評価を行ない、その結果を述べたものである。

計算の対象とした断面積は、 $\sigma_{\text{tot}}$ ,  $\sigma_{\text{el}} (= \sigma_{\text{se}} + \sigma_{\text{ce}})$ ,  $\sigma_{\text{n,f}}$ ,  $\sigma_{\text{n,r}}$  (compound, direct and semidirect),  $\sigma_{\text{n,n}}$  (compound),  $\sigma_{\text{n,n}}$  (direct),  $\sigma_{\text{n,2n}}$ ,  $\sigma_{\text{n,3n}}$ ,  $\sigma_{\text{n,p}}$ ,  $\sigma_{\text{n,d}}$ ,  $\sigma_{\text{n,t}}$ ,  $\sigma_{\text{n},\alpha}$  である。解析に使用した核モデルは、 $^{239}\text{Pu}$  原子核の変形を考慮して、coupled channel theory<sup>1)</sup> (計算コード JUPITOR-1<sup>2)</sup>) と複合核過程に対する統計模型 (COMNUCコード<sup>3)</sup>) を組み合わせたものである。前者については、第2番目迄の励起順位について spin-orbit coupling を入れ、それ以上の 21ヶの順位 (最大エネルギー順位  $E_{\lambda} = 0.849\text{MeV}$ ) に対しては、球形核光学模型 (Woods-Saxon型 およびその微分型 equivalent local potential) を採っている。一方、統計模型の計算において level interference および width fluctuation に関する Moldauer<sup>4)</sup> 効果を Tomita<sup>5)</sup> の改良に従って考慮に入れている。即ち、上の効果を計算する際、statistical parameter  $Q_c$  に対して transmission coefficient  $\theta_{\lambda c}$

$$\left( = T_c + \frac{1}{Q_c} [1 - \sqrt{1 - Q_c T_c}]^2, T_c \text{ は光学模型から得られるチャンネル } c \text{ についての} \right.$$

transmission coefficient) に依存する一定でない値で、しかもどのチャンネルを経由する反応する断面積も負にならないような値を与えている。また、核分裂反応断面積の計算には、その transmission coefficient を  $\langle \theta_{\lambda f} \rangle^{J\pi} = N^{J\pi} / 4\pi$  (但し、 $N^{J\pi}$  は、実効的な核分裂反応のチャンネルの数) とおき、Hill-Wheeler<sup>5)</sup> の模型を用いている。そして、0.2 MeV 迄を discrete region として Lynn<sup>7)</sup> および Kikuchi<sup>8)</sup> による 11ヶの

遷移状態が仮定された。一方、 $\sigma_{n,2n}, \sigma_{n,3n}, \sigma_{n,p}, \sigma_{n,d}, \sigma_{n,t}$  および  $\sigma_{n,\alpha}$  は Weiskopf の蒸発理論を組み入れた半実験公式<sup>9)</sup>を用いて計算された。

Table 1 に計算に用いた光学ポテンシャルパラメータ値を掲げるが、これらの値は以下の2つの規準に従って選ばれたものである。(1)全断面積、ポテンシャル散乱およびS-, P-wave neutron strength function ( $S_0, S_1$ )の実験データを再現し得ること。(2)副次的であるが、 $\sigma_{n,r}$  および  $\sigma_{n,f}$  について ENDF/B のために推奨された値と悪くとも5-7%内で一致すること。但し、 $\sigma_{n,r}$  の計算には、 $B_n = 6.524 \text{ MeV}$ ,  $\bar{\Gamma}_r = 4.0 \text{ MeV}$ ,  $\bar{D}_{J=0} = 8.78 \text{ eV}$ ,  $\bar{D}_{J=1} = 3.12 \text{ eV}$  とする。第2番目の条件は、非弾性散乱断面積の計算結果に対する信頼性を増すために必要なものである。ここに選ばれたパラメータは、上の条件を良く満たしており、10 keV-20 MeV で利用できる実験データを大体良く再現している。全断面積については、100 keV 以下で Uttley, 0.3-1 MeV で Cabe, 1 MeV 以上で Smith, Heaton, Foster-Glasgow の測定データと計算値と良く一致している。但し、Cabe のデータは、Smith, Heaton 等と比べると2-5%高い。1 keV において  $S_0 = 1.19 \times 10^{-4}$ ,  $S_1 = 1.71 \times 10^{-4}$  である。 $S_0$  は、local fluctuation に基づくと思われる実験データの変動域内に収まっている。

測定の際のエネルギー分解能が高くとれないことから、弾性散乱断面積の測定データには、8 keV 励起順位等に対する非弾性散乱の成分が混入している。Fig. 10 では、測定条件の違いが測定データに表われており、その影響を考慮に入れた計算値が可成り良く測定値を説明できることがわかる。即ち、Smith のデータは、低くとも1.1 MeV 迄第1順位に対する非弾性散乱の寄与を、Knitter や Cranberg のデータは3ヶの励起順位の成分を含めた結果がより良く測定値を再現している。また、数 MeV 以上の高エネルギーにおける弾性散乱断面積の角分布に対して、複合核を経由する弾性および非弾性散乱は殆んど無視できるが、直接過程による非弾性散乱は、測定データを説明する上に可成り重要である。4 MeV においては、 $\sigma_s$  については20%、 $\mu_L$  (実験室系の散乱角の平均余弦)に対しては14%の寄与を示す。非弾性散乱断面積の励起関数についても、 $\sigma_{in}$  (direct) を含めた場合、稍かに過大評価しているが、大概測定データを良く再現している。さらに、ここで評価された弾性散乱断面積は、Wick の極限条件：

$$\frac{d\sigma_{el}}{d\Omega}(0^\circ) \geq \left( \frac{K\sigma_{tot}}{4\pi} \right)^2 \quad \text{但し、} k: \text{入射中性子の波数,}$$

を満たしている。尚、この評価に用いられた計算は、1972年5月に全て完了した。

参考文献

(and A.R. Edmonds)

- (1) D.M.Chase, L.Wilets, Phys.Rev.110(1958)1080
- (2) T.Tamura, ORNL-4152(1967) see also Rev.Mod.Phys. 37(1965) 679
- (3) C.L.Dunford, AI-AEC-12931(1970)
- (4) P.A.Moldauer, Phys.Rev.135B(1962)642, and Rev.Mod.Phys. 37(1965)679
- (5) Y.Tomita, JAERI-1191(1970)
- (6) D.L.Hill and J.A.Wheeler, Phys.Rev.89(1953)1102
- (7) J.E.Lynn, et al., Nucl.Phys.84(1966)49
- (8) Y.Kikuchi, et.al., J.Nucl.Sci.and Technology 5(1968)86
- (9) S.Pearlstein, J.Nucl. Energy 27 p.81(1973)

TABLE I  
Optical Model Parameters

$V_0 = 46.53 - 0.29E$  (all energies in MeV)

$W_D$	
$4.27 + 0.756E + 24.4E^2$	$0 < E \leq 0.1$
$4.27 + 3.64E - 4.35E^2$	$0.1 < E \leq 0.5$
$4.27 + 1.89E - 0.86E^2$	$0.5 < E \leq 1.0$
$5.0 + 0.36E$	$1.0 < E \leq 4.0$
$5.54 + 0.202E$	$4.0 < E \leq 10.0$
$6.16 + 0.138E$	$10.0 < E \leq 20.0$

$R_0$   
Coupling:  $\left(\frac{1}{2}^+, \frac{3}{2}^+, \frac{5}{2}^+\right)$   
 $1.28f$   $0 < E \leq 5.0$   
 $1.24f$   $5.0 < E \leq 20.0$

$a = 0.65 f$   $b = 0.47 f$   $V_{SO} = 7.0 \text{ MeV}$

$\beta = 0.26$

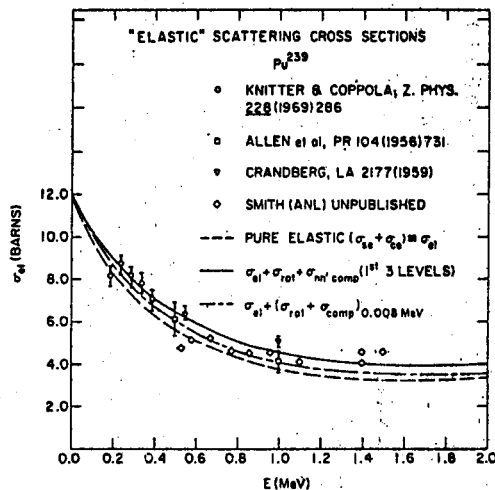


Figure 10

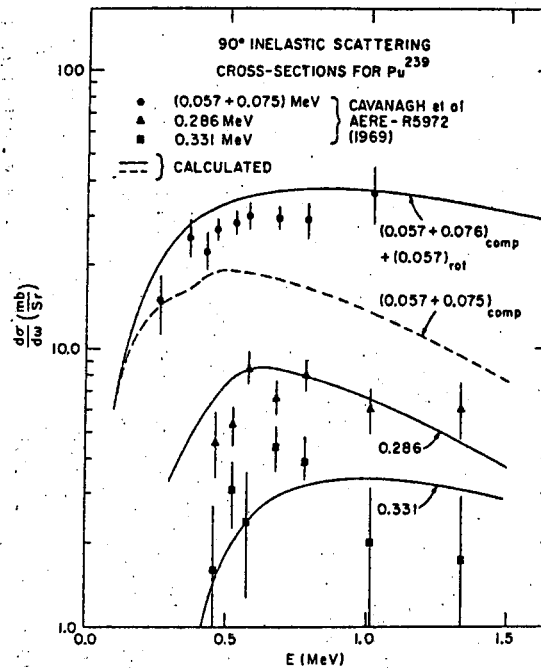


Figure 11