

## 核分裂生成物の中性子断面積

FP炉定数作成ワーキンググループ報告書・2

---

1971年12月

---

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所は、研究成果、調査結果などを JAERI レポートとして、つぎの 4 種に分けそれぞれの通し番号を付し、不定期に刊行しております。

- |         |                                |             |
|---------|--------------------------------|-------------|
| 1. 研究報告 | まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告 | JAERI 1001- |
| 2. 調査報告 | 概説・展望・調査の結果などをまとめたもの           | JAERI 4001- |
| 3. 年 報  | 研究・開発その他の活動状況などの報告             | JAERI 5001- |
| 4. 資 料  | 施設の概要や手引きなど                    | JAERI 6001- |

このうち既刊分については「JAERI レポート一覧」にタイトル・要旨をまとめて掲載し、また新刊レポートは「研究成果要旨集」(隔月刊)で逐次紹介しています。

これらのリスト・研究報告書の入手および複写・翻訳などのご要求は、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）に申しこんでください。

---

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the nonperiodical reports with the following classification numbers:

1. JAERI 1001- Research reports
2. JAERI 4001- Survey reports and reviews
3. JAERI 5001- Annual reports
4. JAERI 6001- Manuals etc.

Requests for the above publications, and reproduction and translation should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan

## 核分裂生成物の中性子断面積

FP 炉定数作成ワーキンググループ報告書・2

日本原子力事業株式会社 飯 島 俊 吾  
三菱原子力工業株式会社 小 林 隆 俊  
日本原子力研究所 坂 田 肇\*

1971年6月5日受理

### 要 旨

原子番号 (Z) が 32 から 68 の範囲にある約 190 種の核分裂生成物 (FP) の共鳴吸収積分および熱中性子吸収断面積データの収集、評価を行なった結果をまとめたものである。共鳴積分は共鳴レベルパラメータを用いての計算値を実験データなどと比較して妥当と思われる値を決めた。熱中性子断面積は 0.0253 eV (2,200 m/sec) におけるデータの収集および重要な FP 核種についてそのエネルギー依存性を求めた。

整備された断面積データは燃焼過程での FP 核種の崩壊チェインの追跡の計算コード (FP CHAIN) の Library に用いられている。また各核種についての高速中性子領域 54 群 (MUFT 型)、熱中性子領域 30 群 (THERMOS 型) の群定数セットも作られた。

この研究はシグマ研究専門委員会炉定数専門部会の FP 炉定数作成ワーキング・グループで実施されたものである。

\* 現在動力炉核燃料開発事業団

# Neutron Absorption Cross Section of Fission Product

## (Report of FP Working Group No.2)

Shungo IJIMA

Nippon Atomic Industry Group Co., Ltd.

Takatoshi KOBAYASHI

Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc.

Hajime SAKATA\*

Japan Atomic Energy Research Institute

### Summary

Present report describes the results of compilation and evaluation of thermal neutron absorption cross sections and resonance integrals of approximately 190 fission product nuclides ranging from  $Z=32$  to 68. The calculated resonance integrals were compared with measured ones to determine the preferred values of resonance integrals. For the thermal neutron cross section values ( $2,200 \text{ m/sec}$ ) and their energy dependence were obtained. In addition, the multi-group cross section set was constructed for each fission products, with the group structure of MUFT type (54 group) in fast energy region and THERMOS type (30 group) in thermal region.

These cross sections are stored as library data for the programs of FP CHAIN and FPPARA, which calculate the build up of fission products on burn-up process and produce a multi-group cross section set for pseudo fission products, respectively. The work has been performed as the activity of FP working group in Reactor Constant Subcommittee, Japanese Nuclear Data Committee.

---

\* present address, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

## 目 次

1. まえがき.....	1
2. 共鳴積分の計算.....	2
2.1 共鳴積分の計算方法 .....	2
2.2 計算に使用した核データ .....	9
3. 共鳴積分値の決定.....	11
4. 热中性子断面積データ.....	12
5. あとがき.....	15
文 献.....	15
附表 FP 核種の热中性子断面積および共鳴積分 .....	17

## Contents

1. Introduction.....	1
2. Calculation of resonance integral .....	2
2.1 Calculation method.....	2
2.2 Nuclear data .....	9
3. Determination of resonance integral.....	11
4. Thermal neutron cross section data .....	12
5. Concluding remarks.....	15
Reference .....	15
Appendix Table of thermal neutron cross sections and resonance integrals for fission product nuclides .....	17

## 1. まえがき

原子炉の燃焼過程で生成される核分裂生成物(FP)の核種の数は原子番号(Z)が32~68の範囲で、約450にも及ぶが、断面積の値が知られていないものが多く、燃焼度の解析に用いるFPの炉定数の精度に影響を与えていている。しかし近年多くの動力炉の稼動に伴い、燃焼計算精度の向上の要求が高まり、このためにFP炉定数の再検討の必要性が強調されてきた。一方炉定数の基礎データである断面積に関する情報も、核物理研究の進歩によりかなり集積されてきたことから、われわれは熱中性子炉用のFP炉定数を作成するための断面積データの収集、評価を行ない、各FP核種の断面積の整備を行なった。

すなわち断面積を高速中性子領域と熱中性子領域の2つに分け、前者では共鳴レベルパラメータにもとづいて共鳴吸収積分の計算値を求め、実験値などと比較して妥当と考えられる値を決めた。また後者では大部分のものは $1/v$ 型と見なせるので、エネルギー $E_0=0.0253\text{ eV}$ ( $2,200\text{ m/sec}$ )における吸収断面積( $\sigma_a(2,200\text{ m/sec})$ )の値を決めたが、 $\sigma_a(2,200\text{ m/sec})$ の大きいもので $1/v$ か

らずれているものは断面積のエネルギー依存性をも求めた。なおわれわれは熱中性子炉を対象としたため、高いエネルギー領域で現われる( $n, p$ )や( $n, 2n$ )反応は無視し、( $n, r$ )反応の断面積のみのデータを考えることにした。

この結果193の核種の断面積データが整備され、これから各核種について熱領域30群(TERMOS型)および高速領域54群(MUFT型)の群定数セットが作られた。しかし共鳴積分の値では計算に用いた非分離共鳴レベルの統計的パラメータの検討がじゅうぶんでないこと、さらに比較に用いた実験値についても中性子スペクトルや切断エネルギーおよび標準の断面積値などが統一的に補正されていないことなどにより、われわれが決めた値も細部にわたる今後の検討が必要であると思われる。

本報告書に述べられている内容は、熱中性子炉用のFPの炉定数を作成する目的で、シグマ委員会、FP炉定数作成ワーキング・グループ\*において行なったものであり、本報告書の結果はFP核種の崩壊チェインの追跡<sup>1)</sup>や擬核分裂生成物(Pseudo FP)の炉定数作成<sup>2)</sup>のためのデータとして用いられた。

\* 協同作業者 亀井孝信(NAIG)、松延広幸(住友原子力)、永山 哲(原電)、大竹 巍(富士電機)、富岡秀剛(原研)

## 2. 共鳴積分の計算

共鳴吸収積分 ( $RI$ ) を

$$RI = \int_{E_c}^{\infty} \sigma_a(E) / E \cdot dE \quad (2.1)$$

で定義する。切断エネルギー  $E_c$  は測定値との比較のために 0.5 eV とするが、MUFTR 型断面積セット作成のさいは  $E_c=0.625$  eV とする。また FP の崩壊チエインの追跡のさいは Westcott 型実効断面積形式を用いているため  $E_c=5k_B T$  ( $k_B$ : Boltzmann 定数,  $T$ : 温度 °K) を仮定し、かつ (2.1) 式より  $1/v$  型寄与を差引いた値 (Reduced resonance integral) も求めた。計算は  $E_c=0.5$  eV として行ない、 $E_c$  の変更による共鳴積分変化の修正は 2.2 で述べる。

### 2.1 共鳴積分の計算方法

分離レベル領域での吸収断面  $\sigma_a(E)$  は次式の Breit-Wigner の一準位公式を用いた。

$$\sigma_a(E) = \frac{2.60 \times 10^6}{E_0(\text{eV})} \sqrt{\frac{E_0}{E}} \frac{g\Gamma_n\Gamma_r}{\Gamma^2} \frac{\Gamma^2/4}{(E_0-E)^2 + \Gamma^2/4}, \text{ barn} \quad (2.2)$$

(2.1) 式の計算のさい、 $E_0 \leq 5$  eV のレベルによる寄与は負の共鳴レベルも含めて (2.2) 式により数値積分を行なった。 $E_0 \geq 5$  eV の分離レベル領域では各共鳴レベルの共鳴積分 ( $RI_{\text{reso.}}$ ) を

$$RI_{\text{reso.}} = \frac{4.095 \times 10^6}{E_0^2(\text{eV})} \frac{g\Gamma_n\Gamma_r}{\Gamma}, \text{ barn} \quad (2.3)$$

と近似して計算を行なった。 $\Gamma$  は eV 単位で表わす。

共鳴積分の計算においては非分離レベル領域の断面積の寄与は幾つかの例外核種を除けばあまり重要でない。これは共鳴積分が多くの場合低エネルギーの数個のレベルによってほとんど定まるからである。ここでは  $p$ -波までの寄与に限定し、 $\Gamma_r$  のエネルギー依存性および非弾性散乱との競争を無視することにした。この近似のため約 100 keV 以上のエネルギーでの断面積計算値は事実とは著しく離れたものになるが  $RI$  の計算のためにには、ほとんどの場合これでじゅうぶんであると思われる。従って非分離領域の計算は次式によって行なわれた。

$$\sigma_a(E) = \sum_{l=0,1} \sigma_a^{(l)}(E) \quad (2.4)$$

$$\sigma_a^{(l)}(E) = \frac{2\pi^2}{k^2} \sum_j^l \frac{\epsilon_j S_l^* S_r^*}{g_j S_l^* + \epsilon_j S_l^*} F \left( \frac{S_r^*}{\epsilon_j S_l^*} \right), \quad (2.5)$$

ここで  $J$  の和は  $l$  を一定に保つ範囲での和である。上式に現われる記号は次のようである。

$$g_J = (2J+1)/2(2I+1)$$

$I$ =標的核のスピン

$$S_l^* = \sqrt{E} v_l(E) S_l(E)$$

$$v_l(E) = \text{貫通度 (Penetration factor)}$$

$$S_l(E) = \langle \Gamma_n^{(l)}/D \rangle_J$$

(Neutron strength function)

$$S_r^* = \langle \Gamma_r/D \rangle_J = g_J S_r$$

$$S_r \approx \Gamma_r / D_{\text{obs}}^{(l=0)},$$

(Radiative strength function)

$$D_J = \text{スピン } (J) \text{ および一定の パリティ の平均のレベル間隔}$$

$$D_{\text{obs}}^{(l=0)} \approx D_J / g_J, \text{ (s-波中性子に対する平均レベル間隔の実測値)}$$

$\epsilon_j^{(l)}$  はチャンネル・スピン  $j_i$  についての複合核形成多重度で、

$$\epsilon_j^{(l)} = \begin{cases} 2 : j_1, j_2 \text{ のいずれも} \\ 1 : j_1 \text{ か } j_2 \text{ のいずれかが} \\ 0 : j_1 \text{ も } j_2 \text{ } |J-l| \leq j_i \leq J+l \end{cases} \text{ を満足する}$$

の値をとる。

$F(x)$  は Porter-Thomas 分布による中性子レベル巾の変動についての平均を表わし、

$$F \left( \frac{S_r^*}{\epsilon_j^{(l)} S_l^*} \right) = \left\langle \frac{\epsilon_j^{(l)} S_l^*}{S_r + \epsilon_j^{(l)} S_l^*} \right\rangle_{\text{P.T. average}} / \frac{\epsilon_j^{(l)} S_l^*}{S_r + \epsilon_j^{(l)} S_l^*} = (1+a)(1-\phi\sqrt{2a}), \quad (2.6)$$

と書かれる。ここで

$$a = S_r^* / \epsilon_j^{(l)} S_l^*$$

$$\psi(\xi, 0) = \frac{\xi}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\text{Exp}(-\xi^2 y^2/4)}{1+y^2} dy$$

$$= \frac{\sqrt{\pi}}{2} \xi \text{ Exp}(\xi^2/4) (1 - \text{erf}(\xi/2)) \quad (2.7)$$

である。貫通度  $v_l(E)$  は  $x=kR$  として

$$v_0=1, \quad v_1=x^2/(1+x^2)$$

である。核半径 ( $R$ ) は JAIN の光学模型解析<sup>3)</sup> に従って

$$R = (1.15 A^{1/3} + 0.4) \times 10^{-13} \text{ cm}$$

を用いる。

$RI$  は

$$RI = \int_{0.5 \text{ eV}}^{10 \text{ MeV}} \sigma_a(E) \frac{dE}{E} \quad (2.8)$$

で計算されたが、熱中性子領域断面積のすその寄与は次のように処理されている。

(1) 0.5 eV 以上のエネルギー領域で最低の共鳴レベ

ルのエネルギー  $E_1$  が  $(E_1 - 20\Gamma) > 0.5 \text{ eV}$  の場合 (Fig. 1)

1) には  $E \geq (E_1 - 20\Gamma)$  の範囲で積分され,  $0.5 \text{ eV}$  以下にある共鳴レベル ( $E_0$ ) の寄与は含まれない。

(2) 最低レベルが  $(E_1 - 20\Gamma) < 0.5 \text{ eV}$  の場合 (Fig. 2)

2) には  $E_0$  のレベルの寄与は含まれている。

従って上記(1)の場合には熱中性子領域断面積のすその部分を計算値に加えて補正する必要がある。面積が  $1/v$  型の場合には、これは簡単に

$$(RI)_{1/v} = \int_{0.5 \text{ eV}}^{10 \text{ MeV}} \sigma_a(2,200 \text{ m/sec}) \sqrt{\frac{0.0253}{E}} \cdot \frac{dE}{E}$$

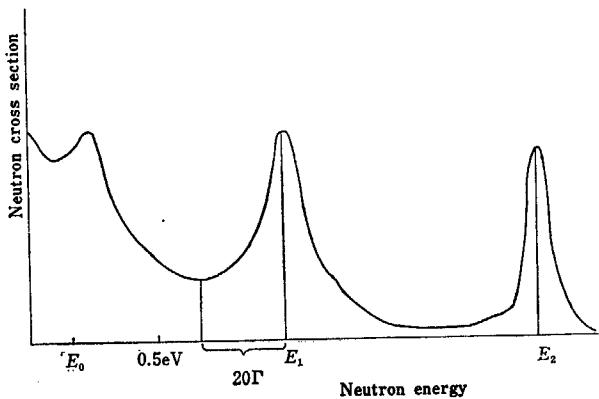


Fig. 1 Method of integration when the lowest resonance energy lies above 0.5 eV.

$$= 0.45 \sigma_a(2,200 \text{ m/sec}) \quad (2.9)$$

として補正することができる。

一般的にいって  $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  の小さい核では  $RI$  も小さく、また対偶的に、 $RI$  の大きい核では、 $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  値も大きいといえる。しかし各々の逆は成り立たない。その理由は、 $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  値はゼロエネルギー近傍の負の共鳴レベルの存在によって影響され、 $RI$  値は低エネルギーの正の共鳴レベルの存在によって支配されるからである。従って観測されたレベルだけの寄与の和として熱中性子断面積およびその熱外中

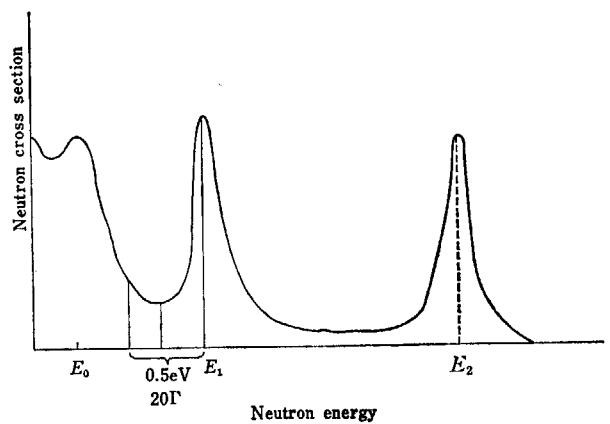
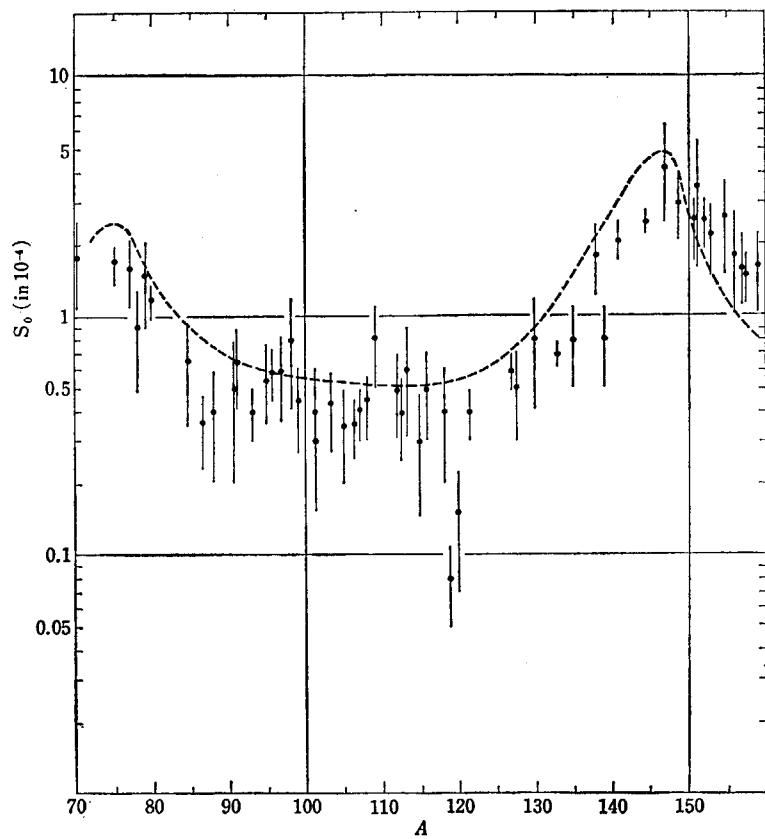


Fig. 2 Method of integration when the lowest resonance energy lies below 0.5 eV.



↓ : Seth's recommendation  
---- : Optical model calculation by Jain

Fig. 3 s-wave strength function.

TABLE 1 Input data for FPRI

DATA \*TC- 99\* NOT TEST  
 ND=1000 K=0.20 IMESH= -0 RESONANCE NO = 9 SPIN= 0.45000E 01 ECUT= 0.50000E 00 EMAX= 0.10000E 02 S2200= 0.10000E-04

*CARD NO*	RESONANCE-E	NEUTRON-WIDTH	RADIATION-WIDTH	STATISTICAL-WEIGHT-FACTOR
1001	0.56400E 01	0.22000E 01	0.28000E 03	0.50000E 00
1002	0.20400E 02	0.45000E 01	0.28000E 03	0.50000E 00
1003	0.39900E 02	0.12000E 01	0.28000E 03	0.50000E 00
1004	0.57200E 02	0.28000E 01	0.28000E 03	0.50000E 00
1005	0.11200E 03	0.13000E 02	0.28000E 03	0.50000E 00
1006	0.*12500E 03	0.30000E 01	0.28000E 03	0.50000E 00
1007	0.*16500E 03	0.67000E 02	0.28000E 03	0.50000E 00
1008	0.*8400E 03	0.66000E 02	0.28000E 03	0.50000E 00
1009	0.19500E 03	0.48000E 02	0.28000E 03	0.50000E 00

\*\*\*\* S-WAVE \*\*\*\*  
 CARD NO D-BAR GAMMA-N-S-BAR GAMMA-GAMMA-BAR  
 2000 0.21000E 02 0.92400E 00 0.18000E 03

\*\*\*\* P-WAVE \*\*\*\*  
 CARD NO S1 R  
 2001 0.50000E 00 0.57200E 01

## HUFF USED

\*\*\*\*\* SHUSEI SHITA E-MAX \*\*\*\*\*

EMAX= 0.10700E 02

TABLE 2 Output data of FPRI

*****RESULT OF CALCULATION*****									
	R11 (1)	R12 (1)	R134 (1)	SIG10	SIG11	R13 (1)	R14 (1)	CALCULATED SIGMA2200= 0.10000000E-04	
1	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
2	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
3	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
4	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
5	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
8	0.35999429E 02	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
9	0.51889381E 03	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
10	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
11	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
12	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
13	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
14	0.87378212E 02	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
15	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
16	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
17	0.61755186E 01	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
18	0.69314586E 01	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
19	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
20	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
21	0.96883725E 01	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
22	0.16284079E 02	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
23	0.10909090E 02	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
24	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
26	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
27	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
28	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
29	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
30	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
31	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
32	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
33	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
34	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
35	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
36	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
37	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
38	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
39	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
40	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
41	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
42	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
43	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
44	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
45	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
46	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
47	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
48	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
49	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
51	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
52	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
53	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
54	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
55	0.13277673E 03	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTAL	0.14177266E 03	0.	0.38117362E 02	0.13816161E 02	0.40604794E 02	0.24633366E 02	0.11198322E 02	0.26178391E 01	

RI(1) = 0.19370618E 03

TABLE 3 Statistical level parameters in unresolved resonance region

(Symbol)

 $Z$ : Atomic number $N$ : Neutron number $A$ : Mass number $I^*$ : Target nucleus spin ( $I$ ) and parity ( $\pi$ ) $D_{\text{obs}}$ : Observed level spacing (eV) $S_0$ : Neutron  $s$ -wave strength function ( $10^{-3}\sqrt{\text{eV}}/\text{eV}$ ) $S_1$ : Neutron  $p$ -wave strength function ( $10^{-3}\sqrt{\text{eV}}/\text{eV}$ ) $\Gamma_r$ : Average radiation width (mV) $S_r : \Gamma_r/D$ , radiative strength function ( $10^{-3}\text{eV}/\text{eV}$ ) $R$ : Nuclear radius (Fermi)

	$Z$	$N$	$A$	$I^*$	$D_{\text{obs}}$	$S_0$	$S_1$	$\Gamma_r$	$S_r$	$R$
Ge	32	40	72	$0^+$	2300	0.07	0.09	370	0.16	5.18
		42	74	$0^+$	2600	0.06	0.1	350	0.135	5.23
		44	76	$0^+$	2300	0.12	0.12	340	0.148	5.27
As	33	42	75	$-3/2$	84	0.17	0.11	340	4.05	5.25
Se	34	40	74	$0^+$	2300	0.18	0.1	320	0.139	5.23
		42	76	$0^+$	2300	0.16	0.12	340	0.148	5.27
		43	77	$-1/2$	180	0.16	0.13	330	1.83	5.29
		44	78	$0^+$	2000	0.09	0.14	320	0.160	5.31
		46	80	$0^+$	1800	0.12	0.16	300	0.167	5.355
		48	82	$0^+$	4000	0.10	0.20	270	0.0675	5.40
Br	35	44	79	$3/2^-$	40	0.15	0.15	310	7.75	5.335
		46	81	$3/2^-$	75	0.13	0.20	280	3.73	5.38
Kr	36	44	80	$0^+$	1000	0.12	0.15	400	0.40	5.355
		46	82	$0^+$	1000	0.09	0.20	275	0.275	5.40
		48	84	$0^+$	6868	0.066	0.25	180	0.0262	5.44
Rb	37	48	85	$5/2^-$	2500	0.05	0.30	250	0.10	5.46
		50	87	$3/2^-$	4500	0.24	0.30	240	0.0533	5.50
Sr	38	48	86	$0^+$	1250	0.10	0.37	240	0.192	5.48
		49	87	$9/2^-$	300	0.036	0.41	240	0.80	5.50
		50	88	$0^+$	10000	0.09	0.50	240	0.024	5.515
Y	39	50	89	$1/2^-$	5000	0.04	0.54	245	0.049	5.535

TABLE 3 Continue (1)

	Z	N	A	I	$D_{\text{obs}}$	$S_0$	$S_1$	$\Gamma_r$	$S_r$	R
Zr	40	50	90	$0^+$	1000	0.085	0.60	250	0.250	5.55
		51	91	$5/2^+$	400	0.05	0.70	250	0.625	5.57
		52	92	$0^+$	6000	0.04	0.80	270	0.045	5.59
		54	94	$0^+$	6000	0.05	0.70	300	0.050	5.63
		56	96	$0^+$	8000	0.09	0.50	300	0.0375	5.67
Nb	41	52	93	$9/2^+$	1600	0.04	0.73	260	0.169	5.61
Mo	42	50	92	$0^+$	900	0.10	0.73	260	0.289	5.59
		52	94	$0^+$	800	0.05	0.85	280	0.350	5.63
		53	95	$5/2^+$	80	0.055	0.50	260	3.25	5.65
		54	96	$0^+$	800	0.08	0.45	260	0.325	5.67
		55	97	$5/2^+$	80	0.06	0.45	260	3.25	5.68
		56	98	$0^+$	800	0.08	0.40	300	0.375	5.70
		58	100	$0^+$	1400	0.09	0.30	240	0.171	5.74
Tc	43	56	99	$9/2^+$	21	0.044	0.50	180	8.57	5.72
Ru	44	55	99		110	0.05	0.88	300	2.73	5.72
		57	101	$5/2^+$	26	0.04	0.30	240	9.23	5.76
		58	102	$0^+$	200	0.04	0.30	200	1.00	5.77
Rh	45	58	103	$1/2^-$	35	0.043	0.60	180	5.14	6.43
Pd	46	58	104	$0^+$	200	0.036	0.40	140	0.70	5.80
		59	105	$5/2^+$	44	0.035	0.40	160	3.64	5.825
		60	106	$0^+$	339	0.024	0.25	140	0.413	5.843
		62	108	$0^+$	150	0.04	0.50	140	0.933	5.88
		64	110	$0^+$	150	0.046	0.20	140	0.933	5.91
Ag	47	60	107	$1/2^-$	32	0.04	0.43	150	4.69	5.86
		62	109	$1/2^-$	18	0.08	0.60	130	7.22	5.89
Cd	48	62	110	$0^+$	140	0.036	0.33	130	0.929	5.91
		63	111	$1/2^+$	20	0.044	0.60	100	5.00	5.93
		64	112		300	0.033	0.60	100	0.333	5.94
		65	113	$1/2^+$	30	0.032	0.60	100	3.33	5.96
		66	114	$0^+$	400	0.06	0.60	100	0.250	5.98
In	49	64	113	$+9/2$	6	0.058	0.22	80	13.33	5.96
		66	115	$9/2^+$	6.8	0.03	0.20	100	14.7	5.99
Sn	50	62	112	$0^+$	140	0.05	0.27	115	0.821	5.94
		64	114	$0^+$	200	0.07	0.21	100	0.50	5.98
		65	115	$1/2^+$	28	0.03	0.20	98	3.50	5.99
		66	116	$0^+$	220	0.05	0.18	95	0.432	6.01
		67	117	$1/2^+$	33	0.020	0.16	91	2.76	6.02
		68	118	$0^+$	300	0.04	0.17	110	0.367	6.04
		69	119	$1/2^+$	37	0.008	0.14	86	2.32	6.06
		70	120	$0^+$	350	0.015	0.13	85	0.243	6.07

TABLE 3 Continue (2)

	<i>Z</i>	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>D<sub>obs</sub></i>	<i>S<sub>0</sub></i>	<i>S<sub>1</sub></i>	<i>F<sub>r</sub></i>	<i>S<sub>r</sub></i>	<i>R</i>
Sn	50	72	122	0 <sup>+</sup>	380	0.035	0.11	83	0.218	6.10
		74	124	0 <sup>+</sup>	380	0.017	0.10	83	0.218	6.13
Sb	51	70	121	5/2 <sup>+</sup>	14	0.045	0.12	84	6.00	6.09
		72	123	7/2 <sup>+</sup>	16	0.06	0.10	82	5.13	6.12
Te	52	70	122		380	0.035	0.11	83	0.218	6.10
		71	123	1/2 <sup>+</sup>	40	0.11	0.10	82	2.05	6.12
		72	124		400	0.045	0.10	100	0.250	6.13
		73	125	1/2 <sup>+</sup>	42	0.029	0.09	84	2.00	6.15
		74	126		500	0.04	0.30	90	0.180	6.17
		78	130		1000	0.08	0.10	110	0.110	6.23
I	53	74	127	5/2 <sup>+</sup>	14	0.06	0.30	90	6.43	6.18
		76	129	7/2 <sup>+</sup>	20	0.04	0.10	100	5.00	6.21
Xe	54	70	124	0 <sup>+</sup>	300	0.045	0.11	90	0.30	6.13
		75	129	1/2	45	0.066	0.08	90	2.00	6.21
		77	131	3/2	36	0.07	0.07	85	2.36	6.24
		81	135	7/2 <sup>+</sup>	40	0.08	0.06	90	2.25	6.30
Cs	55	78	133		20	0.07	0.05	110	5.50	6.27
Ba	56	74	130		290	0.32	0.07	94	0.324	6.23
		78	134		230	0.07	0.06	110	0.478	6.29
		79	135	3/2 <sup>+</sup>	40	0.08	0.06	110	2.75	6.30
		80	136	0 <sup>+</sup>	210	0.09	0.055	120	0.571	6.31
		81	137	3/2 <sup>+</sup>	40	0.034	0.05	120	3.00	6.33
		82	138		36000	0.18	0.01	150	0.00417	6.34
La	57	81	138	5 <sup>+</sup>	40	0.10	0.05	130	3.25	6.34
		82	139	7/2 <sup>+</sup>	800	0.08	0.01	150	0.188	6.36
Pr	59	82	141	5/2 <sup>+</sup>	100	0.21	0.01	150	1.50	6.39
Nd	60	83	143	7/2 <sup>-</sup>	40	0.37	0.01	90	2.25	6.41
		85	145	7/2 <sup>-</sup>	25	0.45	0.01	50	2.00	6.44
Pm	61	86	147		4.5	0.40	0.04	80	17.8	6.47
Sm	62	85	147	7/2 <sup>-</sup>	6	0.42	0.03	60	10.0	6.47
		87	149	7/2 <sup>-</sup>	2.2	0.30	0.03	60	27.3	6.50
		88	150		90	0.37	0.03	70	0.778	6.51
		89	151	5/2	1.3	0.25	0.03	62	47.7	6.52
		90	152	0 <sup>+</sup>	100	0.35	0.03	80	0.80	6.54
		88	151	5/2 <sup>+</sup>	2.3	0.24	0.03	74	32.2	6.52
Eu	63	89	153	5/2 <sup>+</sup>	0.7	0.22	0.01	90	129	6.55

TABLE 3 Continue (3)

	Z	N	A	I	$D_{\text{obs}}$	$S_0$	$S_1$	$\Gamma_r$	$S_r$	R
Gd	64	91	155	3/2	1.7	0.26	0.03	100	58.8	6.58
		92	156	0+	100	0.19	0.03	100	1.00	6.59
		93	157	3/2	7	0.16	0.03	100	14.3	6.60
		94	158	0+	100	0.22	0.03	100	1.00	6.62
Tb	65	94	159	3/2+	2.6	0.16	0.03	130	50.0	6.63
Dy	66	95	161	5/2+	2.8	0.18	0.03	130	46.4	6.65
		96	162	0+	90	0.20	0.03	125	1.39	6.67
		97	163	5/2	3.2	0.20	0.035	120	37.5	6.68
		98	164	0+	88	0.20	0.035	110	1.25	6.69
Ho	67	98	165	7/2+	5.7	0.19	0.04	98	17.2	6.71
Er	68	94	162	0+	90	0.20	0.03	125	1.39	6.67
		96	164	0+	88	0.20	0.035	110	1.25	6.69
		98	166	0+	87	0.19	0.04	90	1.03	6.72
		99	167	7/2+	2.7	0.10	0.04	88	32.6	6.73
		100	168	0+	110	0.10	0.04	88	0.80	6.75
		102	170		80	0.10	0.04	88	1.10	6.77

性子部分の断面積を求めることは大きな誤りを生じやすい。実際の問題として特に注意を要したのは大きい、 $\sigma_a$ (2, 200 m/sec)の場合である。この場合熱中性子断面積は  $1/v$  法則に従わないことが多く、測定値の断面積曲線を直接に積分することが必要であった。この例は、 $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{142}\text{Nd}$ ,  $^{149}\text{Sm}$  および  $^{151}\text{Sm}$  である。大きい熱中性子断面積をもつ核でも、測定値の断面積曲線が存在せず、 $\sigma_a$ (2, 200m/sec)のみが測定されている時には  $1/v$  型を仮定せざるを得なかった。

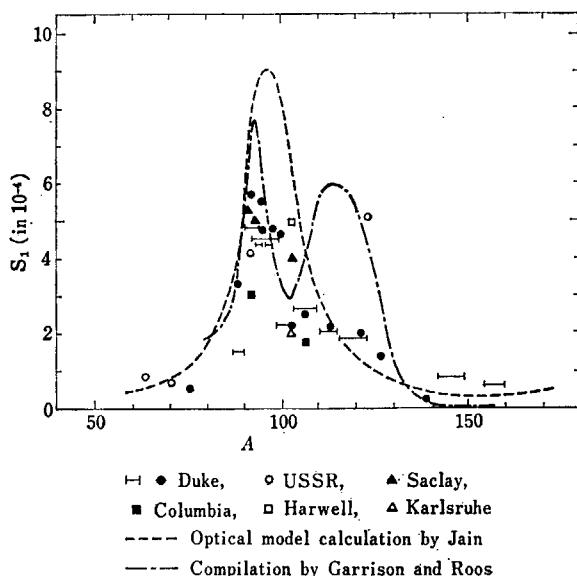


Fig. 4  $p$ -wave strength function. compiled by NEWSON.

上述の計算方法に従って、各 FP 核種について共鳴積分値および高速領域の多群定数を計算するための計算コード FPRI が作成された。この入力データおよび出力データの一例を TABLE 1, 2 に示した。入力データでカード番号が 100 番代のものは分離領域の共鳴パラメータ、200 番に非分離領域の  $s$ -波および  $p$ -波に対する共鳴パラメータを与えていた。出力データでは分離領域で一準位公式の数値積分により求めた値が  $RI$  1, 近似解析解で求めた値が  $RI$  2 である。また非分離領域の共鳴積分値は  $RI$  3, 4 で、このうち  $s$ -波による値が  $RI$  3,  $p$ -波による値が  $RI$  4 である。これらの値は各エネルギー一群(54 群)ごとに求められると同時に、全共鳴積分  $RI$  も  $RI$  1,  $RI$  2 および  $RI$  3, 4 の総和として最後に示されている。

## 2.2 計算に使用した核データ

切断エネルギー近傍の断面積曲線は主として BNL-325 シリーズの値を用い、GA-2451 (II), GA-2451 (III), GA-2113, ENDF/B も併用した。高エネルギー断面積曲線は BNL-325 シリーズを用いた。

分離共鳴レベルパラメータ値は主として BNL-325, 2nd ed. Suppl. No. 2 の値を用い、これにリストされていない場合には BNL-325 の古い版の値を主とし、ENDF/B や研究論文などからも引用した。

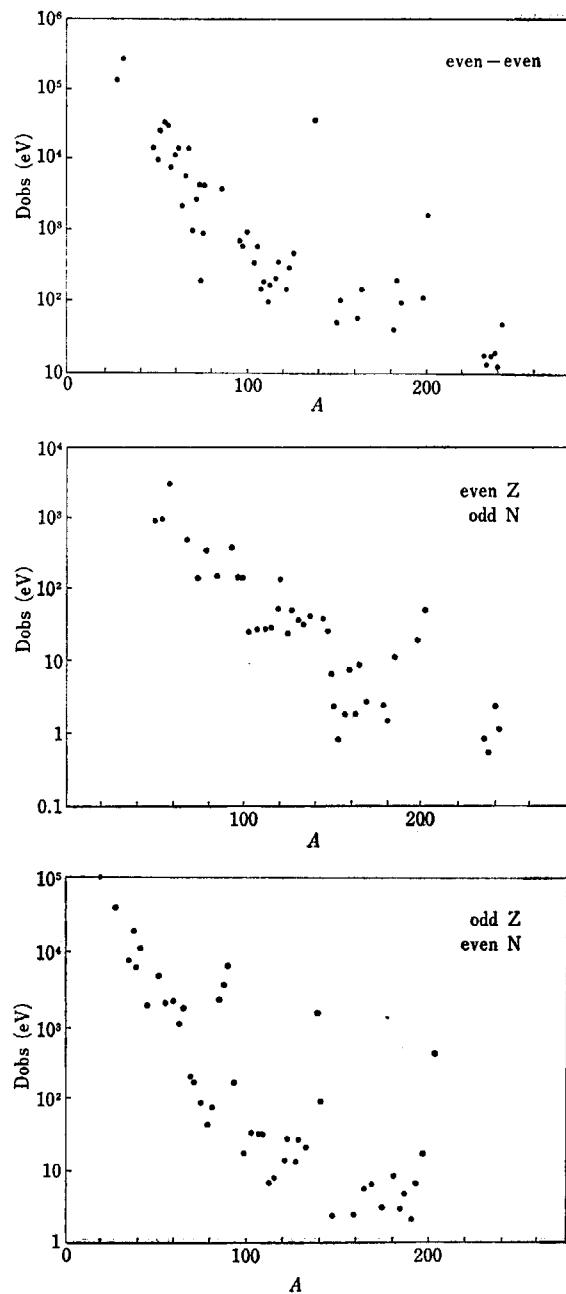


Fig. 5 Average level spacings. (from GARRISON & Roos)

統計的レベルパラメータのうち,  $s$ -波 strength function は SETH の報告<sup>4)</sup>,  $p$ -wave strength function は

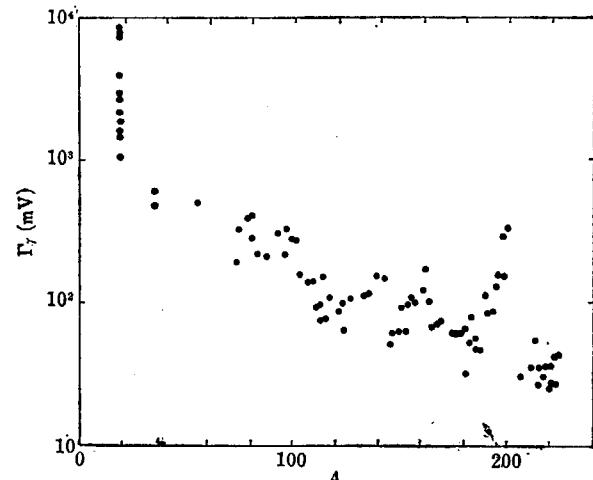


Fig. 6 Average radiation widths. (from GARRISON & Roos)

NEWSON<sup>5)</sup> および GARRISON and Roos<sup>6)</sup> の報告,  $\Gamma_r$  と  $D_{\text{obs}}^{(1=0)}$  は GARRISON and Roos の報告<sup>6)</sup> の値を採用した。核半径値は 2.1 で述べたように JAIN の表式<sup>3)</sup> を用いた。TABLE 3 にわれわれが用いた統計パラメータの値を示した。ただし TABLE 3 の値で  $^{103}\text{Rh}$  については RIBON *et al*<sup>7)</sup> の値を採用し, Mo の同位元素については測定値の吸収断面積データに一致するように、パラメータを調整した。なお測定値の吸収断面積と計算値との系統的な比較は行なっていない。

Fig. 3 は SETH による  $A=70 \sim 170$  での  $s$ -波 strength function 編集値をプロットしたもので、曲線はデータが存在しない場合に内挿を行なうために引いたものである。

Fig. 4 は NEWSON と, GARRISON and Roos による  $p$ -波 strength function の編集値を  $A=60 \sim 160$  の範囲で示したもので、比較のため JAIN による表面吸収型の光学模型による計算結果を同時に示した。GARRISON and Roos の値は  $A=100$  の  $p$ -波の大きな共鳴の近傍では WESTON たち<sup>8)</sup> (Fig. 4 の Duke のデータ) の old value に近く, NEWSON のより新しいデータでは  $A \approx 100$  での strength function 値が大きい。

Fig. 5, 6 に GARRISON and Roos による  $D_{\text{obs}}$  および  $\Gamma_r$  の編集値を再掲する。

### 3. 共鳴積分値の決定

附表に  $Z=32\sim68$  の約 200 核種について、存在比、半減期、測定分離レベル域、熱中性子断面積、全共鳴積分の計算値、非分離域のみの計算値、測定値もしくは他の研究者による評価値、およびこれらの比較により本報告で決定した値を示す。

熱中性子断面積は BNL-325 より主に採ったが BNL-325 にも注意されているように、これらの値は必ずしも  $2,200 \text{ m/sec}$  での値ではなく、原子炉スペクトルまたは熱化スペクトルによる平均値であることもある。多くの FP 核種では  $1/v$  型なので、その差は問題がないが、 $\sigma_a > 10 \text{ barn}$  の場合には注意する必要がある。

共鳴積分の測定値は 1965 年までのものは主に DRAKE<sup>9)</sup> による編集値を再出してある。これらは切断エネルギーを  $0.5 \text{ eV}$  に標準化され、さらに  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{59}\text{Co}$  の標準断面積に相対的に測定値を補正し標準化が行なわれている。しかし中性子スペクトルについては補正されていない。DRAKE の編集値以外の測定値は他の報告書および CINDA から引用した報告書の値を収集したが、これらの値は標準化を行なわず原論文のままである。

附表より次のことが認められる。

- (1) 多くの核に対して共鳴パラメータの測定が不足している。共鳴レベルの測定値のある核に対してはわれわれの計算値は他の研究者の計算値と概して非常によく一致している。
- (2) 計算値と測定値との間には、しばしば現在の共鳴

パラメータ値からは理解しにくいほどの大きいくい違いが見られる。

(3) 測定値は全体としてまだ少なく、また、測定値間にも著しいばらつきが見られる場合がある。このような現状の下で一意的な評価は困難であるが、共鳴積分 ( $RI$ ) の値を定めるため、次のような基準をおいた。

- (1) 計算値と測定値がかなりよく一致している時は計算値をとる。
- (2) 計算値と測定値がくい違っている時には、年代的に新しい測定値、または測定値の単純平均をとる。  
ただし、測定値が小さく、かつ計算値とのずれが現在の共鳴パラメータからは理解しにくい場合は計算値をとる。
- (3) 計算値または測定値のいずれかしかない場合はこれをとる。
- (4) 热中性子断面積 ( $2,200 \text{ m/sec}$ ) 値のみわかっている時には  $1/v$  型として  $RI$  を求める。
- (5) ただし、近傍の  $A, Z$  核の  $RI$  値から判断して(3), (4)の選択が不合理と考えられる時には近傍の核の  $RI$  に近い値をとる。
- (6) 計算値を探る場合、热中性子断面積の大きい核では热外中性子部分の断面積の扱いを注意する。

上記の基準は厳密なものではなく、多分に曖昧な選択によらざるを得ない場合もあった。

#### 4. 热中性子断面積データ

大部分の FP 核種の热エネルギー領域での断面積は  $1/v$  型のエネルギー依存性と見なせるため、0.0253 eV (2,200 m/sec) における吸收断面積の値を基準にして任意のエネルギーにおける値  $\sigma_a(E)$  を求めている。しかし  $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  の値の大きいものは  $1/v$  よりずれている可能性があると思われるので、それぞれの核種について断面積のエネルギー依存を求めた。

各核種の  $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  の値は主に BNL-325 2nd. ed. Suppl. No. 2 の値が採用されていて、附表にまとめられている。しかし  $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  が与えられていても、そのエネルギー依存性のデータは必ずしも得られていない。従ってわれわれは FP の炉定数を作るうえで特に重要と思われる核種に注目して、そのデータの調査を行なった。重要な核種は、別に報告<sup>1)</sup> されている FP 核種の崩壊チェインの追跡の結果から選定され、<sup>103</sup>Rh,

<sup>113</sup>Cd, <sup>129</sup>I, <sup>135</sup>Xe, <sup>143</sup>Nd, <sup>145</sup>Nd, <sup>149</sup>Sm, <sup>151</sup>Sm, <sup>153</sup>Eu, <sup>155</sup>Gd および <sup>157</sup>Gd が非  $1/v$  型に分類された。これら核種のデータは BNL-325, ENDF/A, ENDF/B, GA-2451 (II), (III), および GA-2113 などから決められた。Fig. 7~17 にこれらの断面積のグラフを示した。

熱エネルギー領域の断面積データが作られた核種は 193 であり、考えられる FP の数にくらべて約半分である。断面積が未知である質量数 (A) と原子番号 (Z) の核種に対して、その (A, Z) の前後に大きな断面積をもつものがあれば、この (A, Z) の核種の断面積を 1000 barn と仮定する方法もある。しかし、われわれは零 barn すなわちこの核種による中性子の吸収を無視することにした。しかし重要な核種はほとんど与えられていると考えられる。

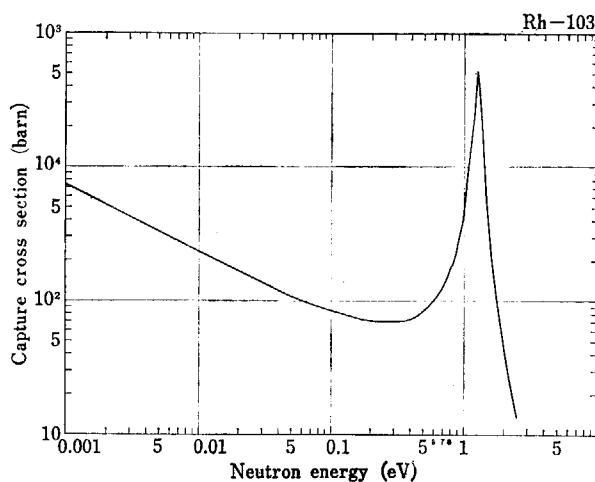


Fig. 7 Thermal cross section for <sup>103</sup>Rh.

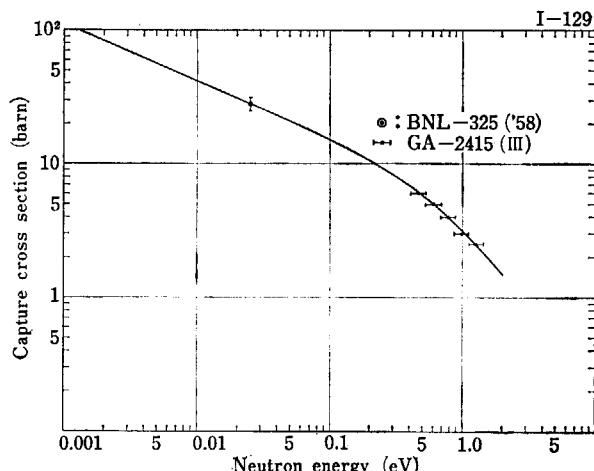


Fig. 9 Thermal cross section for <sup>129</sup>I.

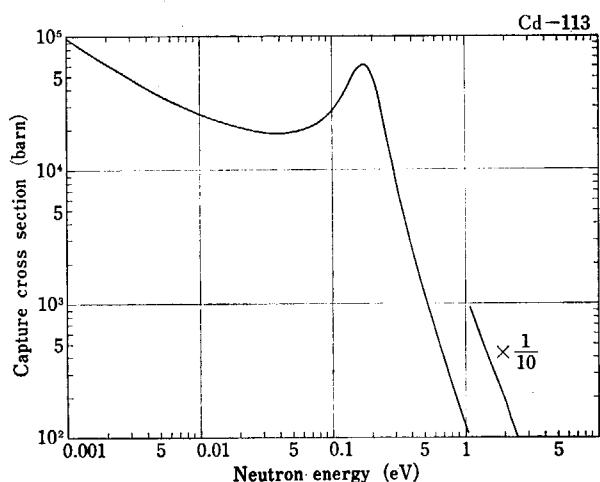


Fig. 8 Thermal cross section for <sup>113</sup>Cd.

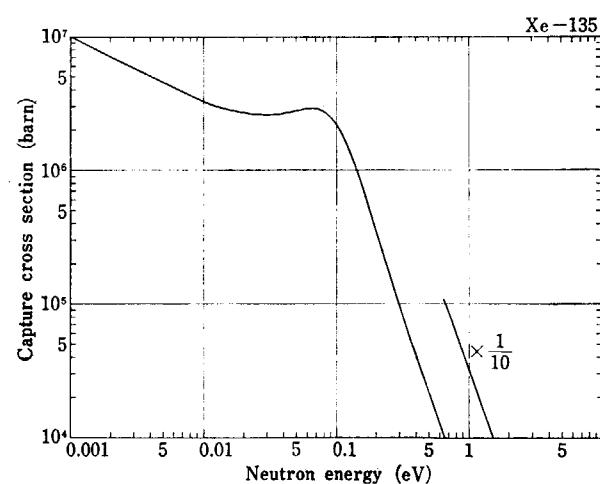
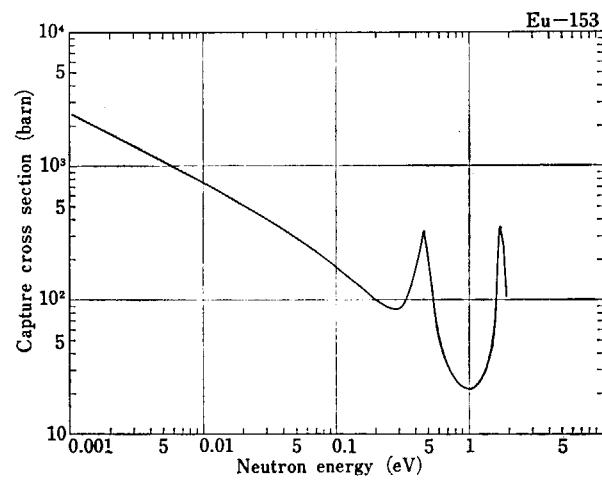
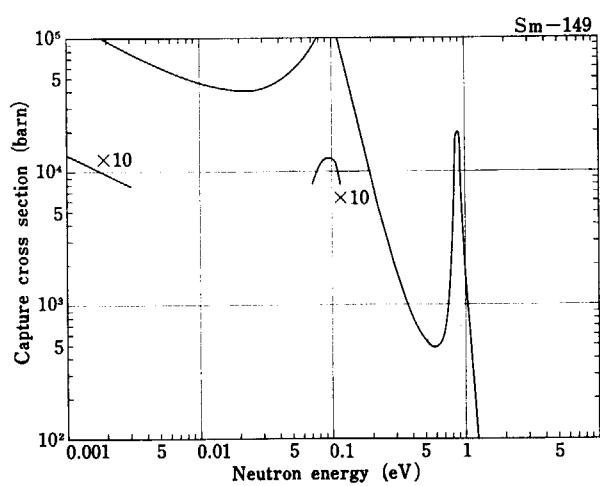
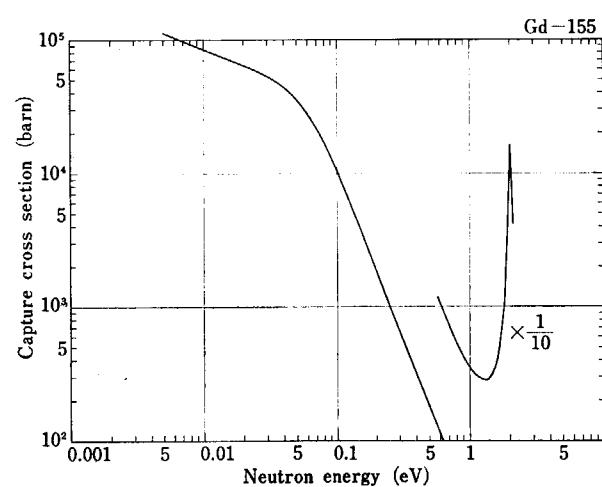
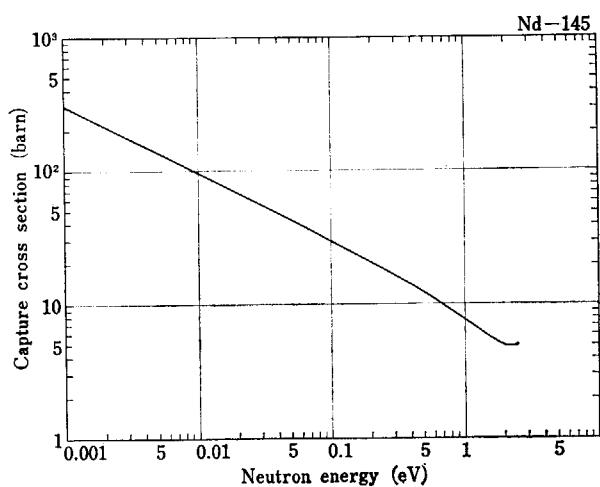
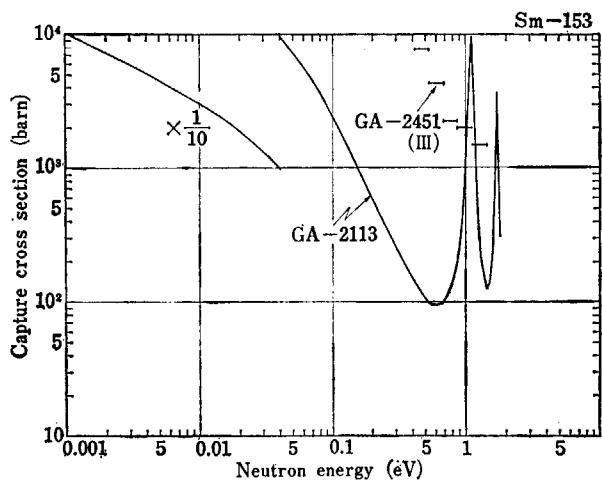
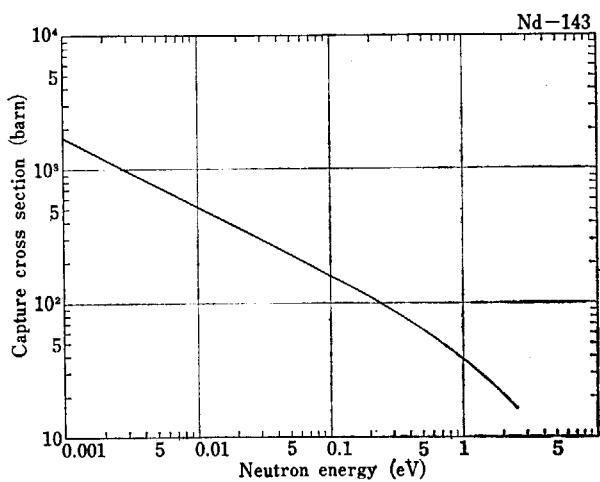


Fig. 10 Thermal cross section for <sup>135</sup>Xe.



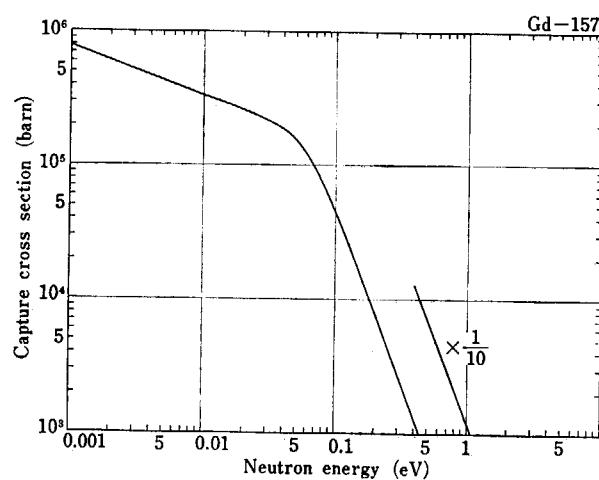


Fig. 17 Thermal cross section for  $^{157}\text{Gd}$

## 5. あとがき

共鳴積分の計算に使用したパラメータのうちで、非分離領域のレベルパラメータ、特に  $\langle\Gamma_r/D\rangle$  の値については不満足な点が多く、この領域の共鳴積分値にはかなりの誤差が含まれていると思われる。しかしあれわれは熱中性子炉を対象として FP の断面積の作成を行なったので、この誤差は許容され得るものと考えている。高速炉の FP の断面積を考える場合には厳密な  $\langle\Gamma_r/D\rangle$  の評価が必要である。また共鳴積分の実験値についてもすでに述べられたように、その取扱いが必ずしもじゅうぶんではない。これらのことからわれわれが最終的に決めた共鳴積分値はなお検討が必要である。

核分裂生成物核種の種類が多いのに対して、それらの断面積に関するデータが少ないため、本報告書にまとめたデータは必ずしもじゅうぶんなものではない。しかもこの整備は43年8月の時点ですとまとめられたものであり、その後のデータと比較すると修正を要する点もある。しかし熱中性子炉用の FP 炉定数を作成するための基礎データとして用いる場合にはじゅうぶんな核種の種類と精度をもつものと思われる。従って  $\sigma_a(2,200 \text{ m/sec})$  と RI は核分裂で生成される核種の崩壊チェインの追跡す

る計算コードの入力データとして、また熱および高速エネルギー領域の多群の断面積セットは擬核分裂生成物の炉定数作成の入力データとして用いられている。

本報告書に述べられている作業に関し、瑞慶覧氏（日立）および宝珠山氏（MAPI）をはじめシグマ研究委員会の関係者の協力を得たことを感謝する。

### Reference

- 1) SAKATA, NAGAYAMA and OTAKE ; JAERI 1194(1970)
- 2) SAKATA, NAGAYAMA, OTAKE, SAITO and MATUNOBU ; JAERI (to be published)
- 3) JAIN A.P. ; *Nucl. Phys.* **50** 157 (1964)
- 4) SETH K.K. ; Nuclear Data, Section A 2299 (1966)
- 5) NEWSON H.W. ; Int. Conf. on the Study of Nuclear Structure with Neutrons, Antwerp (1965)
- 6) GARRISON J.D. and ROOS B.W. ; *Nucl. Sci. Eng.* **12** 115 (1962)
- 7) RIBON P., LOTTIN A., MICHAUDON A. and TROCHON J. ; Int. Conf. on the Study of Nuclear Structure with Neutrons, Antwerp (1965)
- 8) WESTON L.W., SETH K.K., BILPUCH E.W. and NEWSON H.W. ; *Ann. Phys.* **10** 477 (1960)
- 9) DRAKE M.K. ; *Nucleonics*, vol. 24 No. 8, 108 (1966)

This is a blank page.

**Appendix Table of thermal cross sections  
and resonance integrals for  
fission product nuclides.**

Example $^{36}\text{Kr}$ 

(1) A	(2) Abund. or Half-life	(3) $\sigma_a^{\text{th}}$	(4) No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	(5) $R_{\text{cal}}$	(6) Unresolved $R_{\text{cal}}$	(7) Measured and Evaluated RI	(8) RI
Nat							
82	11.56	45 <u>15</u>	1 (0.04)	190.1	13.7	180*	210.4
83	11.55	205 <u>30</u>	2 (0.03-0.23)	154.8	15.4	140*	245.3
84	56.90	0.16 <sup>+</sup>	2 (0.5-0.58)	3.47	0.34	3.3*, 5.5 <u>2</u> **	3.54
85	9.4 y	15				29 29 ** 81 △	81
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison &amp; Roos, N.S.E. 12, 115 ('62)

\*\*\* Walker, Paris Conf I 521 ('66)

△ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

(1) A: Mass number

(2) Abundance (%) for stable nuclide or Half-life for unstable nuclide

(3)  $\sigma_a^{\text{th}}$ : Thermal neutron (2200m/sec) cross section (barn). The value 45 15 means  $45 \pm 15$  barns. The cross sections marked by + and ++ stand for the data obtained by activation experiment and measured in reactor spectrum, respectively.

(4) Number of resonance levels (Min.- Max. resonance energies, keV)

(5)  $R_{\text{cal}}$ : Calculated value of total resonance integral. (Uncorrected for thermal tail, barn)(6) Unresolved  $R_{\text{cal}}$ : Calculated value of resonance integral in unresolved region

(7) Measured and evaluated values of resonance integrals (Unmarked data are taken from Drake's compilation, barn)

(8) RI: Total resonance integral used in the present work (barn)

 $^{32}\text{Ge}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	$R_{\text{cal}}$	Unresolved $R_{\text{cal}}$	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		3.42 <u>35</u> <sup>+</sup>		(0.14)		3.5 <u>29</u>	
69							
70	20.55	3.68	18 (4.3 - 38)				
71							
72	27.37	0.98 <u>9</u>	10 (4.5 - 40)	0.267	0.070		0.71
73	7.67	14 <u>1</u>					6.3
74	36.74	0.45 <u>20</u>	3 ( 5 - 22 )	0.155	0.091		0.36
75	82 m						
76	7.67	0.36 <u>7</u>	4 ( 5 - 29 )	0.132	0.068		0.30

 $^{33}\text{As}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	$R_{\text{cal}}$	Unresolved $R_{\text{cal}}$	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.							
74							
75	100	4.3 <u>2</u>	110 (0.047-9.7)	57.8	1.59	36.1, 40.3, 81*	60
76	26.4 h						

\* J.W. Rogers and J.J. Scoville, Trans. Am. Nucl. Soc. 10 259 ('67)

$^{34}\text{Se}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		12.2 5		8.04		9.6 12	
73							
74	0.87	50 7	2(0.027-0.27)	507	2.0		530
75							
76	9.02	85 7	11(0.38-24.2)	7.95	0.10		46
77	7.58	42 4	13(0.11-1.5)	15.4	2.2	12*	34.3
78	23.52	0.38 4 <sup>+</sup>	10(0.38-40)	6.47	0.074		6.65
79	$6 \times 10^4$ y	40					18
80	49.82	0.61 6	9(2-39.9)	0.485	0.078	0.6*	0.76
82	9.19	2.1 15	4(6.6-26.6)	0.072	0.035	1.4 14** , 1.2 <sup>A</sup>	0.98
83	25m						

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison-Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

△ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{35}\text{Br}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		6.8 1		90.5		118 14	
79	50.5	10.9 5	7(0.04-0.4)	127.0	15.2	153	
80	18m						132
81	49.5	3.1 4	3(0.1-0.2)	53.3	13.8	60*, 60 7**	54.8
82	3.59h						
84	30m						
85	3m						

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

 $^{36}\text{Kr}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		24.0 10		(43.5)			
77							
78	0.35	2.0 5 <sup>+</sup>					0.9
79							
80	2.27	14 2	1(0.11)	74.8	8.4		81.2
81							
82	11.56	25	1(0.04)	190.1	13.7	180*	
83	11.55	205 30	2(0.03-0.23)	154.8	15.4	140*, 201 45** , 150***	190
84	56.90	0.16 <sup>+</sup>	2(0.5-0.58)	3.47	0.34	3.3*, 55 2**	245
85	9.4y	8				29 29** , 81 <sup>A</sup>	3.54
86	17.37	0.06 2 <sup>+</sup>				0.04 4.0.07.0.07 <sup>A</sup>	81
87	77m	<600 <sup>+</sup>					0.07 <270

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

△ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{37}\text{Rb}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		0.73 <u>7</u>		2.70		9.0 <u>28</u>	
84							
85	72.2	0.76 <sup>+</sup>	11 (0.2 - 6.9)	2.86	0.061	0.12*, 0.67 <u>8</u> **	3.2
86	5.09 y						
87	27.8	0.12 <u>3</u> <sup>+</sup>	6 (0.27 - 8.6)	2.28	0.038	0.11*, 0.21 <u>15</u> **	2.33
88	17.8 m	1.0 <u>2</u> <sup>+</sup>					0.45
89	15.4 m						

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.E.S. 12 115 ('62)

 $^{38}\text{Sr}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.- Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		1.21 <u>6</u>		7.46		17.1, 10.0 <u>26</u> , 14 <u>3</u> ***	
84	0.56	1.05 <sup>+</sup>	10 (0.36--3.4)	8.65	0.59		9.12
85							
86	9.86	0.8 <u>1</u> <sup>+</sup>	9 (0.6-18.8)	2.87	0.15		3.23
87	7.02	7.0	19 (0.004-3.7)	100.9	0.53	100*	104
88	82.56	0.005 <u>1</u> <sup>+</sup>	19 (0.003-0.21)	0.0533	0.0024	0.0045*, 0.06 <u>6</u> **	0.057
89	51 d	0.5 <u>1</u> <sup>+</sup>				0.8 <sup>Δ</sup>	0.8
90	28 yr	1.0 <u>6</u> <sup>+</sup>				2 <sup>Δ</sup>	2.0

\* Walker, CRRP- 913 ('60),

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* INDSWG -64, P.65('64)(from CINDA 69)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{39}\text{Y}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
89	100	1.28 <u>2</u>	10 (2.6 - 15)	0.190	0.021	0.84, 0.1*, 0.78 <u>20</u> **	0.765
90	64.8 h	4				17 <sup>Δ</sup>	17
91	58.0 d	1.07				1.4 <sup>Δ</sup>	1.4

\* Walker, CRRP- 913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{40}\text{Zr}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		0.188 <u>8</u>		1.12		2.9, 3.5, 0.65 <u>6</u> , 1.08, 1.51*, 1.03, 1.06 <u>14</u>	
90	51.46	0.10 <u>7</u>	14 (3.8-68)	0.223	0.063	5.0 <u>15</u> , 8.79*, 9.3 *** 4.8 **	0.268
91	11.23	1.58 <u>12</u>	14 (0.18-5.6)	6.45	0.334		7.7
92	17.11	0.25 <u>12</u>	8 (2.7-47)	0.47	0.015	0.55 <u>55</u> ***	0.58
93	$1.1 \times 10^6$ y	1.5					1.8
94	17.40	0.075 <u>8</u>	19 (2.3-42)	0.250	0.017	0.2 <u>2</u> ***	0.284
95	65d						
96	2.80	0.05 <u>1</u>	20 (0.3-58)	5.42	0.013	0.07 <u>4</u> ***	5.44
97	16.9h						

\* M.K. Drake, Nucleonics, Aug. P.108 ('66)

\*\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62) $^{41}\text{Nb}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
93	100	1.15 <u>5</u>	111 (0.0358-4.7)	2.16	0.16	8.5, 5.7 <u>4</u> , 12.7 <u>50</u> , 4, 8.73 <u>65</u> , 10 <u>2</u> *	8.73
94	$2.2 \times 10^4$ y	5				500 <u>200</u> **	500
95	23h	4					

\* INDSWG - 64, P.75 ('64) (from CINDA 69)

\*\* Schuman, IDO-16760, P.13 ('61). (BNL-325, 2nd. Suppl. No.2)

 $^{42}\text{Mo}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		2.70 <u>8</u>		23.7		13.4, 13.8 <u>17</u> , 14.9 <u>20</u> , 19.5 <u>25</u> , 26.2 <u>10</u> , 32 <u>131</u> , 23.1	
92	15.9	<0.3	5(0.347-17)	1.21	0.23		1.34
93							
94	9.1	0.3	3(1.5-5.4)	1.52	0.88		1.70
95	15.7	14.5 <u>5</u>	16(0.26-7.4)	98.6	1.24	109 <u>33</u> *, 101 <u>20</u>	106
96	16.5	1.2 <u>6</u>	4(0.11-3.3)	25.8	0.824		26.3
97	9.45	2.2 <u>7</u>	10(0.07-1.3)	13.5	2.22	16 <u>4</u> *	14.5
98	23.75	0.15 <u>20</u>	9(0.012-9.1)	6.66	0.57	5.6 <u>16</u> *, 6.37, 6.69 <u>13</u> , 9.1 <u>25</u> , 8.9 <u>11</u> , 6.6 **	6.73
99	66.3h						
100	9.62	0.5 <u>5</u>	5(0.097-1.7)	7.86	0.76	6.2 <u>25</u> *, 1.19 <u>20</u> , 3.73 <u>20</u> , 4.15 <u>23</u> , 3.7 **	3.94

\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

$^{43}\text{Tc}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
99	$2.1 \times 10^5 \text{ y}$	22 <u>3</u>	9 (0.005-0.2)	193.7	13.8	9220, 1403*, 200**	204

\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\* Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

 $^{44}\text{Ru}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		2.56 <u>13</u>		(23.7)		82 §	
96	5.7	0.21 <u>2</u>				5.51 <u>40</u>	5.51
98	2.2	<8					3.6
99	12.8	10.6 <u>6</u>	2(25-230 eV)	42.3	9.54	195 <u>20</u>	195
100	12.7	10.4 <u>7</u>				11.3 <u>26</u>	11.3
101	17.0	3.1 <u>9</u>	11(16-460 eV)	72.4	7.29	79.2 <u>80</u> , 77.8*	73.8
102	31.3	1.44 <u>16</u>	1(200 eV)	9.9	6.91	4.16 <u>41</u> , 11.0 <u>35</u> *	10.6
103	40 d					4.6 <u>4</u> , 25 <sup>Δ</sup>	4.6
104	18.3	0.47					0.09
105	4.43 h	0.20 <u>2</u>					1.3
106	1.0 y	0.146 <u>45</u>				2.06***, 0.6 <u>6</u> , 1.3**	

\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

\*\*\* R.D. Werner and T.A. Eastwood, N.S.E. 21 20 ('65) ( $E_c = 0.54 \text{ eV}$ )

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

§ J.W. Rogers and J.J. Scoville, Trans. Am. Nucl. Soc. 10 259 ('67) $^{45}\text{Rh}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
102	206 d					592, 675, 1200 <u>100</u>	
103	100	150 <u>5</u>	69 (1.26-800 eV)	1071	6.25	1060, 1020*, 1030 <u>31</u> ** 1180***	1070
104	4.4 m 42 s	800 <u>100</u> ††† 40 <u>30</u> †††					360
105	36 h	18000				1.65 $\times 10^5$ , 56000 <sup>Δ</sup>	1.65 $\times 10^5$

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{46}\text{Pd}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		8.0 15		(88.5)		22.3, 121***	
101							
102	0.8	4.8 15 <sup>+</sup>					2.2
103							
104	9.3	6.0	1 (186 eV)	16.7	5.8	14*	
105	22.6	11.0	4 (12-360 eV)	75.5	6.41	67*, 76 22**	80.5
106	27.1	0.292 29	1 (290 eV)	8.19	2.67	5.96 60, 5.5*, 12 5**	5.96
107	$7 \times 10^6$ y	10.0				40**, 36 <sup>Δ</sup>	
108	26.7	12.3	3 (3-92 eV)	224	13.4	150*, 169 65**	224
110	13.5	0.237	1 (12 eV)	58.1	52.3	6.0*, 10 3**	58.2
111	22 m	0.21					0.945

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* J.J. Rogers and J.J. Scoville, Trans. Am. Nucl. Soc. 10 259 ('67)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{47}\text{Ag}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		63.6 6		740		>650, 460 70, 835 50 698 20, 755, 670 20 <sup>6</sup> 730 50 <sup>8</sup>	
106							
107	51	35 5	14 (16-600 eV)	87.2	6.57	87.2	103
108							
109	49	91 3	37 (5-620 eV)	1419	10.8	1890 200, 1240, 1420 400**, 1400*, ***	1460
110 <sup>m</sup>	249 d	82 11 <sup>+</sup>					37

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

§ Vidal, Paris Conf. I 479 ('66) (Exp.)

§§ Vidal, Paris Conf. I 479 ('66) (Cal.)

 $^{48}\text{Cd}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		2450 30		(84.3)		17.5 30***, 102.2	
106	1.22	1.0 <sup>+</sup>					0.45
107							
108	0.87	2.0 10 <sup>+</sup>					0.9
109							
110	12.4	0.10 3 <sup>+</sup>	1 (90 eV)	43.4	12.3	30*	
111	12.75	24.3 3 <sup>+</sup>	8 (30-230 eV)	49.6	12.8	44*, 52 12**	51.0
112	24.1	0.030 15	2 (67-230 eV)	11.8	4.10	5*, 13 5**	11.8
113	12.3	20000 300	9 (0.18-200 eV)	530	9.48	652 20**	530
114	28.9	0.30 15 <sup>+</sup>	1 (120 eV)	15.8	6.11	10*, 15 5**	15.9
115	53.0 h	1.5 3					
116	7.58						0.675

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Simpson et al., P.R. 105 616 ('57)

$^{49}\text{In}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		194.3		2850		2200 <u>300</u> , 3790 <u>250</u> 3740 <u>350</u> , 3287 <u>70</u> , 3200 <u>70</u> <sup>b</sup>	
113	4.23	11.1	7(1.8-45 eV)	250	50	1050, 1025*	250
115	95.77	199 <sup>c</sup>	12(1.46-95 eV)	2965	20	2640, 3550 <u>100</u> , 3440, 2610 <u>78</u> <sup>d</sup> , 3280 <u>100</u> , 3250 <u>120</u> , 3300***, 3300 <u>400</u> **	3450

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

§ Vidal, EANDC(E) 57U ('65), also Paris Conf. I 479 ('66)

§§ Blown, Dissertation ('66) ( $E_c = 0.5$  eV, for 54 min. activity) $^{50}\text{Sn}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		0.63 <u>1</u>		6.61		4.56, 5.77, 3.74 <u>20</u> 8.7 <u>20</u>	
112	0.95	1.25	12(0.02-1.4)	29.7	2.51		30.3
114	0.65		6(0.28-2)	7.55	1.46	4.6*	7.55
115	0.34	60	4(0.3-0.9)	5.24	3.46	1.9*	5.24
116	14.24	0.0062 <sup>e</sup>	9(0.1-3.4)	15.5	0.72	1.3*	15.5
117	7.57	2.7	24(0.0013-1.4)	15.6	2.03	15*	16.8
118	24.01	0.0106 <sup>f</sup>	10(0.05-7.4)	5.35	1.39	4.0*	5.35
119	8.58	2.5	16(0.006-1.3)	3.75	1.44	5.6*	5.0
120	32.97	0.143 <sup>g</sup>	7(0.36-1.7)	1.73	0.71	0.75*	1.50
122	4.71	0.185 <sup>h</sup>	5(0.1-6.9)	0.84	0.29		0.92
124	5.98	0.14 <sup>i</sup>	5(0.06-9.7)	10.9	0.20	12.*	11.0
126	5.0m	0.3					

\* Walker, CRRP-913 ('60)

 $^{51}\text{Sb}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		5.7 <u>10</u>		168		115 <u>12</u> , 106 <u>13</u>	
121	57	6.55	14(6-170 eV)	202	10.9	143, 160*, 200*	205
122	67.0h						
123	43	4.1	6(20-190 eV)	124	11.6	138	124
124	60.2d	6.5					
125		1.56				23 <sup>Δ</sup>	23

\* Walker, CRRP-913 ('60) ( $RI_{\text{cal}} = 200$  Barn)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{52}\text{Te}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_{\alpha}^{\text{in}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		4.7 <u>1</u>		(53.5)		37, 74.1, 50 <u>6</u>	
120	0.089	2.34					1.05
121							
122	2.46	2.8 <u>9</u>	4(0.07-1.8)	43.5	1.22	55*	44.8
123	0.87	410 <u>30</u>	12(0.002-0.36)	5518	6.59	6560*	5520
124	4.61	0.04 <sup>+</sup>	7(0.2-1.9)	4.02	1.89	2.1*	4.04
125	6.99	1.56	10(0.026-0.52)	16.2	3.01	23*	16.9
126	18.71	1.04	1(0.2)	11.3	2.53	9.0*, 12 <u>3</u> **	11.8
128	31.79	0.17 <sup>+</sup>	5(0.4-10)			10*, 22***, 0.6 <sup>A</sup>	10
130	34.49	0.26 <sup>+</sup>		3	2.9	2.6 <u>26</u> **, 1.5	3

\* Walker, CRRP-913, ('60)

\*\* Garrison and Rees, N.S.E. 12 115 ('62)

A Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{53}\text{I}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_{\alpha}^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		6.2 <u>2</u>					
125	60.2 d	894 <u>90</u>				13730 <u>2000</u>	13700
127	100	6.2 <u>2</u>	10 (0.02-0.2)	146.6	10.1	154 <u>10</u> * >90, 106 <u>12</u> 177 <u>30</u> , 130 <u>18</u> , 150** 140 <u>20</u> ***	149
129	$1.7 \times 10^7$ y	28 <u>3</u>	5 (0.07-0.19)	23.4	13	227***, 39 <u>10</u> * , 50.4 <u>40</u> 24**	36
130	12.5 h	18 <u>3</u> <sup>+</sup>					8.1
131	8.1 d	0.7 <sup>+,++</sup>				8, 6.8 <sup>A</sup>	8.4
135						0.17 <sup>A</sup>	

\* Garrison and Rees, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\* C.B. Walker, CRRP-1185 ('64)

\*\*\* N.J. Pottenden, N.S.E. 17 371 ('63)

A Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{54}\text{Xe}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		24.5 <u>10</u>		(226)			
124	0.096	100 <u>20</u>	1(5.2 eV)	1136	53.1	2690, 3600 <u>500</u>	3150
125		<5600					
126	0.090	1.5 <u>10</u>					0.675
128	1.92	<8					3.6
129	26.44	21 <u>7</u>	2(9.4-92 eV)	261.2	16.7	240*	271
130	4.08	<26					11
131	21.18	110 <u>20</u>	3(14-76 eV)	734	20.9	800**, 760*, 806 <u>290</u> ***	784
132	26.89	0.272				0.106, 1.8 <u>18</u> ***, 0.2 <sup>A</sup>	0.122
133	5.3d	190				1700 <sup>A</sup>	1700
134	10.44	0.223				0.302, 0.65***, 0.2 <sup>A</sup>	0.302
135	9.13 h	(3.64) $\times 10^6$	1(0.084 eV)		590	0.1 <u>1</u> ***, 0.4 <sup>A</sup>	$7.2 \times 10^3$
136	8.87	0.281 <u>28</u>					0.4

\* Walker, CRPP-913 ('60)

\*\* Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

\*\*\* Garrison and Roos N.S.E. 12 115 ('62)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{55}\text{Cs}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
133	100	29.0 <u>15</u>	17(5.9-500 eV)	367.5	6.08	169.28, 477.40, 550.80 370.50, 464.15, 420.40*, 420.80**, 450.15***	440
134	2.3 y	134 <u>12</u>				1150 <sup>A</sup>	1150
135	$2.6 \times 10^6$ y	8.7 <u>5</u>				80.523, 55.2*	80.5
136	13 d	9.5					
137	26.6 y	0.110 <u>33</u>				0.08 <sup>A</sup>	0.08
138	3.2 m	1.12					

\* Walker, CRPP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Vidal, Paris Conf. I 479 ('66) (RI<sub>cal</sub>=380.60)

Δ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

<sup>56</sup>Ba

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		1.2 1		(8.07)		7.4, 12.6 17, 90 2 §	
130	0.101	13.5	6(0.38-0.90)	8.97	1.31		15
132	0.097	8.5 10					3.8
134	2.42	2 2	1(0.06)	24.4	14.7		25.3
135	6.59	5.8 9	23(0.024-1.3)	95.8	2.09		98.4
136	7.81	0.4 4	3(0.1-7.7)	9.98	0.49	13*	10.2
137	11.32	5.1 4	3(0.4-1.4)	3.35	1.75		5.65
138	71.66	0.35 15	25(32-190)	0.0032	0.0004	0.50 2 **	0.163
139	85m	4 1					1.8
140	13 d	1.57 3	XXX			13.6 14 ***	13.6

\* Walker CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Halperin et al., ORNL - 4164, 1 ('67)

§ INDWG-64, P.75 ('64) (from CINDA 69)

<sup>57</sup>La

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		8.9 2		13.6		10.7, 5.5 20, 19 ***	
138	0.1		10(3.1-360 eV)	332	7.32		332
139	99.9	8.2 8	2(0.75-72 eV)	13.3	3.57	9*, 11 3**, ~60 §	13.3
140	40 h	3.1 10					60

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Rogers et al., A.N.S. 10. 259 ('67)

§ O'Brien, NUCL 25 241 ('67)

<sup>58</sup>Ce

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		0.73 8				3.7 17	
136	0.19	25 25					11.2
138	0.26	9 6					4.0
139							
140	88.48	0.60 6				0.49 5, 0.52*, 0.48 5**, 0.54	0.49
141	32.5 d	29 3					13.0
142	11.07	0.95 5				1.3 8*, 1.0 4	1.0
143	33 h	~6.0 7***					2.7
144	285 d	1.0 1				2.62 26	2.62

\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

△ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

<sup>59</sup>Pr

A	Abund. or Half-life	O <sub>a</sub> <sup>th</sup>	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
141	100	12 <u>3</u>	58 (0.085-5.7)	12.5	0.38	7 <u>3</u> , 12.1, 6.4*	18.0
142	19h	18 <u>3</u> <sup>+++</sup>				23.5 <u>90</u> ** 18.0 <u>8</u>	8.1
143	13.7d	89 <u>10</u>				190 <u>25</u> ***	190
144	17.5m						

\* Walker, CRRP-913 ('60) (RI<sub>cal</sub> = 19)\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)\*\*\* J.C. Roy and L.P. Roy, Can. J. Phys. 37 907 ('59)<sup>60</sup>Nd

A	Abund. or Half-life	O <sub>a</sub> <sup>th</sup>	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		48 <u>2</u>		(30.8)		40 <u>6</u> , 43 <u>4</u>	
141							
142	27.13	18 <u>2</u>				<50, 14*, 130 <u>60</u> **	8.1
143	12.32	335 <u>10</u>	8 (-6-190 eV)	50.9	22.4	30***	202
144	23.87	5.0 <u>6</u>				12 <u>12</u> **, 817 <sup>A</sup>	817
145	8.29	52 <u>2</u>	5 (4.4-104 eV)	282.4	21.3	154 <u>15</u> , 245 <u>140</u> **, 240*, 255***	306
146	17.1	10 <u>1</u>				25 <u>25</u> **, 25 <sup>A</sup>	25
148	5.72	2.9 <u>5</u>				18.7 <u>5</u> , 48 <u>48</u> **, 11 <sup>A</sup>	18.7
150	5.60	1.8 <u>3</u>				14 <u>13</u> **, 5 <sup>A</sup>	5

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

A Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{61}\text{Pm}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max.Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.							
146							
147	2.5yr	200 <u>50</u>	9(0.001 - 0.043)	2210	192	1700 <u>250</u> (5d) <sup>***</sup> , 1520 <u>230</u> (42d) <sup>5</sup> , 3220(5d+42d), 2850 2220 <sup>*</sup> , 3000 <sup>**</sup> (See also the table below)	2210
148m	42 d	30000 <u>5000</u>				35000, 32000 <sup>***</sup>	35.000
148g	5 d	2000 <u>1000</u>				48000, 44000 <sup>***</sup>	48.000
149	53 h	1700 <u>300</u>					
151	28.3 h						765

\* Harrey et al., PIC 16 150 ('58)

\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

§ R.P. Schumann and J.R. Berreth, N.S.E. 12 519 ('62)

Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

	$\sigma_a$	I'	$\Delta \sigma = g \sigma_a + I r \sqrt{\frac{4T}{\pi T_0}}$
$^{147}\text{Pm} \rightarrow 5d \ ^{142}\text{Pm}$	120, 124 <u>13</u> , 83.3 <u>78</u> , 105 <u>5</u>	900, 1700 <u>250</u> , 610 <u>100</u> , 1074 <u>95</u>	60 <u>20</u> , 54 <u>10</u>
$^{147}\text{Pm} \rightarrow 42d \ ^{145}\text{Pm}$	140, 111 <u>11</u> , 73.4 <u>74</u> , 12 <u>9</u>	1200, 1520 <u>230</u> , 590 <u>100</u> , 1334, <u>166</u>	150 <u>15</u>
$^{147}\text{Pm} \rightarrow (5d+42d) \ ^{143}\text{Pm}$	(260), (235), (157), (117)	(2100), (3200), (1200), (2408)	200 <u>50</u> , 204

 $^{62}\text{Sm}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		5820 <u>100</u>		(918)		1790 <u>270</u>	
144	3.16	0.7					0.315
145		~ 110					49.5
146							
147	15.07	87 <u>60</u>	13(3.4-100eV)	585	81.4	1350, 680*, 690 <u>150</u> **	624
148	11.27	9.0				50 <u>50</u> **	50
149	13.84	40000 <u>2000</u>	29(0.1-100eV)	2850	114.6	4400, 3400 <u>300</u> **	3260
150	7.47	102 <u>5</u>	1(20 eV)	156.6	46.2	227 <u>23</u> , 460 <u>130</u> **, 250 <sup>***</sup>	227
151	73 y	15000 <u>1800</u>	5(1.1-6.3eV)	2372	659	3300 <u>700</u> <sup>b</sup> , 3300 <u>700</u> ** <sup>c</sup> , 2500 <u>480</u> <sup>d</sup>	3300
152	26.63	210 <u>10</u>	1(8eV)	1592	112	2670 <u>300</u> , 2000 <u>300</u> , 1750 2190 <u>200</u> , 3163 <u>100</u> , 3000 <sup>***</sup> , 2500 <u>400</u> **	2700
154	22.53	5.5 <sup>e</sup>				25 <u>23</u> **, 16 <sup>f</sup>	16
156							

\* Walker, CRRP-913 ('60)

\*\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Walker, CRRP-1185 ('64)

\*\*\*\* Walker, Paris Conf. I 521 ('66)

§ Fattenden, N.S.E. 17 371 ('63)

▲ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

$^{63}\text{Eu}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat		4400 30		2176			
151	47.8	8800 100	30 (-6x10 <sup>-7</sup> -0.027)	2993	239	<3000, 3741***	3300
152	13 y	5500 1500 <sup>++</sup>					2480
153	52.2	390 80	19 (4.57x10 <sup>-4</sup> -0.0241)	1427	285	1430 100, 1400*, 1380 200, 1833***	1430
154	16 y	1500 400 <sup>++</sup>				7900 <sup>A</sup>	7900
155	1.7 y	14000 4000 <sup>++</sup>				7060 <sup>A</sup>	7000

\* Walker, CRRP - 913 ('60)

\*\* Garrison and Roos N.S.E. 12 115 ('62)

\*\*\* Rogers et al, A.N.S 10 259 ('67) (Ec=0.5eV)

△ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{64}\text{Gd}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat		49000 2000		(375)		67.8	
152	0.20	< 125 <sup>+</sup>				530	56.2
154	2.15	100 20				530	530
155	14.73	61000 1000	34 (0.0268-69.6eV)	1556	159	1630 140*	1560
156	20.47	11.5 72	5 (0.0332-0.3483)	100	6.1	23, 44*, 79 <sup>A</sup>	105
157	15.68	254000 2000	24 (0.0314-158eV)	515	43.2	740 60*	515
158	24.87	3.5 10 <sup>+</sup>	1 (0.0222)	133.5	78.3	29, 29*	135
159	18 h						
160	21.90	. 0.768 12 <sup>+</sup>					0.346
161	3.6 m	96000 50000					43200

§ Wahlgren et al, P.R. 153 1310 ('67)

\* Garrison and Roos N.S.E. 12 115 ('62)

△ Cook, Paris Conf. I 549 ('66)

 $^{65}\text{Tb}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
159	100	46 4	30 (0.00335-0.155)	352	66.8	420 110*	373
160	73 d	525 100 <sup>++</sup>					236

\* Garrison and Roos, N.S.E. 12 115 ('62)

$^{66}\text{Dy}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		930 20		(1360)		1810 440, 1970 180	
156	0.052						
158	0.090	96 20 <sup>+</sup>					33.6
160	2.298	55 9					1160
161	18.88	600 50	32(-2.4-70eV)	1016	114	1160 130,	1160
162	25.53	160 50	4(5.5-660eV)	2497	5.2	1670 170, 950*	1670
163	24.97	125 20	11(-0.5-94eV)	1980	99.1	3320 400, 2570*	3320
164	28.18	2700 200	2(-1.9-150eV)	36.2	16.9	1960 180, 1230*	1980
165	139 m	5000 2000				377 34	377
							2250

\* Walker, CRRP-913 ('60)

 $^{67}\text{Ho}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
165	100	67 4	74(3.9-290eV)	617	17	860 26	648
166	27.2 h						
167							

 $^{68}\text{Er}$ 

A	Abund. or Half-life	$\sigma_a^{\text{th}}$	No. of Resonance (Min.-Max. Energy)	RI <sub>cal</sub>	Unresolved RI <sub>cal</sub>	Measured and Evaluated RI	RI
Nat.		150 15		843		1000 200, 830	
162	0.14	200 25	9(5.5-60eV)	96.3	0.42		186
164	1.56	1.65 17	4(8-60eV)	418	41.5		419
166	33.4	45 9	13(15.5-600eV)	117	38.3		137
167	22.9	650 30	37(0.46-170 eV)	3419	31.1		3420
168	27.1	2.03 41	5(80-530 eV)	33.4	3.1		34.3
170	14.9	9 2	1(95 eV)	55.3	18.8		59.3