

単色中性子に対する ^3He 比例計数管応答関数の モンテカルロ法による計算

三浦 俊正*・布施 卓嘉*

A Monte Carlo Calculation of Pulse Height
Distributions Due to Monoenergetic Neutrons
Incident on a ^3He Proportional Counter

By

Toshimasa MIURA and Takayoshi FUSE

Abstract

In order to get the response function of ^3He proportional counter, a Monte Carlo code MCR1 was made. Random number generating routines were taken from O5R code. XSECT code was also utilized to prepare the input data for MCR1 code. The detail description of the contents of MCR1 code is given.

An experiment was carried out using 2 MeV Van de Graaff to evaluate MCR1 code. Comparison between calculated and measured response function showed fairly good agreement. However, some distortion, which resulted from inaccuracy of ^3He (n, n) ^3He differential cross section, was found in the calculated response function.

A neutron spectrum in uranium was measured in the energy range between 100 keV and 1 MeV. Comparison between measured and calculated neutron spectrum also showed fairly good agreement.

Besides, the response functions of a ^3He proportional counter (10 atm. ^3He gas, 1 inch in diameter and 4 inch in active length) are given in figures and tables in the energy range between 20 keV and 5 MeV.

1. ま え が き

^3He 比例計数管は ^3He (n, p) T 反応を利用した比例計数管で数 10keV から数 MeV のエネルギー範囲での中性子スペクトルの測定に用いられる。 ^3He 比例計数管の特徴の1つは ^3He (n, p) T 反応が 764 keV の Q 値を持つ発熱反応であるため、この反応に

よって生ずるパルスの波高が γ 線によるものに比べ大きく、中性子と γ 線の弁別を行うことなく中性子スペクトルの測定が可能な点にある。この点は上にあげたエネルギー範囲の中性子スペクトルの測定においてよく用いられる有機シンチレーション・カウンターや水素比例計数管がいずれも中性子と γ 線の弁別を必要とするのに比べて極めて有利な点である。しかしながら

* 東海支所 原稿受付：昭和50年6月16日

単色中性子に対する波高分布（応答関数）が複雑な形をしているため測定した波高分布から中性子スペクトルへの変換（unfolding）が難しいという欠点がある。応答関数が複雑なのは $^3\text{He} (n, p) \text{T}$ 反応と共存する $^3\text{He} (n, n) ^3\text{He}$ 反応によるパルスや、これらの反応によって生じた荷電粒子がパルスを生じたガス領域中で全てのエネルギーを費すことなくその領域外に飛び出すことによって起こるいわゆる wall and end effect 等による。この欠点を克服するために測定系においてエレクトロニクス的に ^3He 反跳パルスあるいは wall and end effect を除こうとする試みがなされた¹⁾²⁾。W. K. Brown は ^3He 比例計数管の管壁を二重構造にすることにより wall effect を除くことを試みた¹⁾。A. Sayres 等は $^3\text{He} (n, p) \text{T}$ 反応と $^3\text{He} (n, n) ^3\text{He}$ 反応では生成される荷電粒子が異なるために生じるパルスの立ち上がり時間の相違を利用して波形弁別を行い $^3\text{He} (n, p) \text{T}$ 反応によるパルスのみを取り出す試みを行った²⁾。この方法によると結果的に ^3He 反跳パルスのみならず wall and end effect も除かれるため応答関数が極めて簡単な形となる。このような優れた点がある反面、この方法を用いた場合 $^3\text{He} (n, p) \text{T}$ 反応によるパルスのうち wall and end effect を受けていないものの一部も除かれること、wall and end effect の除去も完全ではないことなどのため定量的に応答関数を決定するのが難しい。すなわち、この場合これらの影響を定量的に評価するのが難しいので応答関数は実験的に決定せねばならない。実験的に応答関数を絶対値で求めようとする場合、次のような点が問題となる。(1)測定器に入射する中性子の絶対量を測定するのが難しい。(2)通常用いられる単色中性子源であるバンデグラフ加速器からの単色中性子はエネルギー的にある広がりを持つ。

しかしながら、この方法によれば応答関数の単純化に伴い測定可能なエネルギー範囲が 10MeV 近くまで広がるのでこれからの進展が期待される。

一方、unfolding の方法を改善する努力も多く払われてきた³⁾⁻⁶⁾。Hsien-Tsan Wang は解析的に応答関数を計算して逆マトリックスを作成した³⁾。逆マトリックス法では、しばしば測定された波高分布における統計誤差が積み重なって unfolding した結果に振動が現れる。飯島らは、この振動を除くため逆マトリックスに改良を加えた⁴⁾。我々は、すでに有機液体シンチレーション・カウンター用に開発された unfolding コード FERDO⁵⁾ が ^3He 比例計数管の場合にも用い

ることができることを報告した⁶⁾。このコードは波高分布からスペクトルへの変換に際して測定値に統計誤差および測定系のエネルギー分解能を考慮に入れて計算を行うためスペクトルに振動が現れにくいという特徴を持つ。

これらの研究と共に重要なのは応答関数を正確に知ることである。特に最近絶対値による中性子スペクトルの測定が要求されており、この要求を満すためにも応答関数は正確に絶対値で求める必要がある。すでに述べたように実験的に応答関数を正確に求めるのは難しいので、これを計算で求めるのが望ましい。しかしながら ^3He 比例計数管の応答関数が正確な形で計算された報告はほとんど見当たらない。すでに述べたように Hsien-Tsan Wang は解析的に応答関数を求めたが解析的な計算では対象とする問題が複雑であるため仮定の導入が避け難い。それ故、我々は基本的に仮定を行う必要のない、厳密な計算法であるモンテカルロ法を用いて応答関数の計算を行った。すなわち、すでに NE213 有機液体シンチレーション・カウンターの応答関数を計算するために開発された O5S コード⁷⁾ を改造して ^3He 比例計数管の応答関数計算コード MCR1 を作成した。本コードの精度の検証はバンデグラフを用いて実験的に求めた応答関数と計算で求めた応答関数の相対的な形を比べることによって行った。その際、計算コードには実験条件から由来する応答関数のゆがみを表すために多少の修正を行った。この検証を行った後 Texas Nuclear 社製の Model #311 ^3He 比例計数管 (^3He ガス圧：10気圧、直径1インチ、有効長4インチ) の応答関数を 20keV から 5 MeV のエネルギー領域で計算した。さらに天然ウラン体系中の中性子スペクトルの測定を行い計算によるスペクトルとの比較を行った。第2章では MCR1 コードの内容と計算法について、第3章では MCR1 コードの精度の実験的検証、実験で用いた電子回路および計算で求めた応答関数を、第4章では天然ウラン体系中の中性子スペクトルの測定について述べる。さらに付録に第3章で示す MCR1 コードを用いて求めた応答関数から必要なエネルギー点での応答関数を内挿によって求めるコード NORMA の説明および NORMA コードによる計算例を示す。

2. MCR1 コードの内容と計算法

2.1 入力データ

MCR1 コードを使用するに際しては O5S コードと

同様にまず汎用モンテカルロ中性子輸送コード O5R⁹⁾ のデータ準備コード XSECT⁹⁾ を用いて各エネルギーグループにおける中性子の ³He ガス中での平均自由飛行時間 T_M および積算反応確率 P_j を計算する必要がある。ここに T_M および P_j は次のように定義される。

$$T_M = 1 / (\sum T \cdot v) \quad (1)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^j (\sum i / \sum T) \quad (2)$$

ただし $\sum T = ^3\text{He}$ 原子核の巨視的全断面積
 $\sum i = ^3\text{He}$ 原子核の i 番目の反応の巨視的
 断面積
 $v =$ 中性子の速度

T_M は ³He 原子核と弾性衝突した中性子の次の反応位置を計算するのに必要であり P_j は中性子と ³He 原子核が反応を起こした際に反応の種類を決定するのに必要である。XSECT コードを使用する際、必要な入力データは ³He 原子核の全断面積、³He 原子核の各反応に対する断面積および ³He 原子核の密度である。 T_M および P_j は磁気テープに出力され MCR1 コードの入力データとなる。 T_M および P_j の定義および XSECT の使用に関する詳細は参考文献 7), 8) を参照されたい。

MCR1 コードのカード入力として必要なものは次の通りである。

(1) MU = ³He (n, n) ³He 反応の積算微分
 断面積の角度分点数 (I 10)

³He (n, n) ³He 反応の積算微分断面積の定義については 2.6 の式 (20) を参照。

(2) AMU(I) = 各角度分点の角度の余弦 (AMU
 (I), I=1, MU) (8E10.3)

(3) N = ³He (n, n) ³He 反応の積算微分
 断面積のエネルギー分点数
 (I 10)

(4) E(J) = 各エネルギー分点のエネルギー
 (eV) (E (J), J=1, N)
 (8E10.3)

(5) Q(I, J) = ³He (n, n) ³He 反応の積算微分
 断面積 ((Q(I, J), I=1, NP),
 J=1, N) (8E10.3)

ただし NP=MU-2

以上(1)~(5)は ³He (n, n) ³He 反応の積算微分断面積に関するデータであり LIBRARY DATA として

すでに組込まれているので新たにデータの変更を必要とする場合等を除いては入力する必要はない。

次に任意の寸法を持った円筒形の ³He 比例計数管、入射中性子、出力形式等に関する情報を読み込む。

(6) TITLE = 任意の表題 (20A4)

(7) ITEST = ヒストリーの数 (I 10)

(8.1) ESOUR = 入射中性子エネルギー (eV)

(8.2) UINP

(8.3) VINP

(8.4) WINP

} = 入射中性子の入射方向の方向余弦 (4E10.3)

(9.1) RANDM3

(9.2) RANDM2

(9.3) RANDM1

} = 初期乱数成分 (3 I 20)

初期乱数成分を全て 0 とおけば初期乱数はコード内で自動的に設定される。

(10.1) GTYPE = 入射中性子の入射方向が管軸と平行の場合は負、垂直の場合は正または 0

(10.2) RADIUS = ³He 比例計数管の半径 (cm)

(10.3) HEIGHT = ³He ガス領域の有効長 (cm)

(10.4) RADIN = 中性子の入射半径 (cm)

GTYPE ≥ 0 のときは無視される

(10.5) PGAS = ³He ガスのガス圧 (気圧)

(10.6) C1 = ³He ガス領域のうち中性子入射側の有効体積でない領域の厚さ

(10.7) C2 = C1 と反対側の有効体積でない領域の厚さ (C1, C2共にcm)

(I 10, 6E10.3)

(11.1) EWIDTH = 出力される応答関数のエネルギーグループ幅 (eV)

(11.2) GAMMA 0 = 対象とする ³He 比例計数管の熱中性子による ³He (n, p) T 反応の波高分布のうち wall and end effect をうけていない部分の半値幅 (eV) (2E10.3)

(12.1) NCARD = 正のときカードによる出力をする
 0 または負のときカード出力なし

(12.2) NSTRT } = NCARD > 0 のとき応答関数が

(12.3) NLAST } NSTRT 番目から NLAST 番目のエネルギーグループの間でカード出力される (3 I 10)

(6)から(12)までの入力は入射中性子のエネルギーを変える度に必要である。

2.2 乱数

乱数は O5R コードで使われている乱数ルーチンを用いて発生させた。すなわち、 n 番目の乱数 X_n は次のように決定される。

$$X_n = \lambda^n \pmod{P} \quad (3)$$

ただし $\lambda = 5^{17}$

$$P = 2^{47}$$

周期は 2^{45} である。

2.3 エネルギー単位およびエネルギーグループ

エネルギー単位およびエネルギーグループは XSE CT コードを用いてデータを準備する関係上 O5R コードで用いられているものと同じものを用いた。すなわち、エネルギー単位としては 1 cm/sec の速度の中性子が持つエネルギーをとる。したがって、中性子の場合 eV 単位からこの単位系への変換は eV で表示したエネルギーに $1.913220092 \times 10^{12}$ を乗ずればよい。また中性子の場合その速度 $v_n (\text{cm/sec})$ は

$$v_n = \sqrt{E_n \times C_f} \quad (4)$$

となる。

ただし $E_n = E_n (\text{eV})$

$$C_f = 1.913220092 \times 10^{12}$$

他の粒子の場合、その速度 $v_x (\text{cm/sec})$ は

$$v_x = \sqrt{E_x \times C_f \times (m_n/m_x)} \quad (5)$$

となる。

ただし $E_x = E_x (\text{eV})$

$m_n =$ 中性子の質量

$m_x =$ 粒子 X の質量

エネルギーグループはまず粗いエネルギーグループの境界を

$$EGP(N) = E_{\max}/2^{N-1} \quad N=1, 2, \dots \quad (6)$$

で定め、さらに、これらのグループの間を 2^7 で割ったものをとる。

ただし $E_{\max} =$ コードで取り扱う最大のエネルギー

2.4 体系および線源

本コードで取り扱える計数管の形状は円筒形のみで

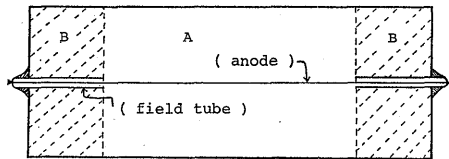


Fig. 1 Schematic drawing of a ^3He proportional counter

(342)

ある。 ^3He 比例計数管は一般に Fig. 1 に示すような構造をしており ^3He ガスが充されている領域は同図に示したように A, B に分けられる。 ^3He 原子核と中性子の反応は領域 A, B で共に起こるが反応で生じた荷電粒子が領域 A 内を走る間に生成されたイオンによってのみパルスは形成される。領域 A は有効体積と呼ばれる。本コードでは領域 A, B で起こる反応を取り扱う。中性子の入射方向としては計数管軸に平行および垂直の場合を対象とする。軸に平行入射の場合は中性子の入射半径を変えることができる。計算時間節約のため入射中性子は全て ^3He 原子核と反応するとして計算した。すなわち、入射中性子の計数管内での減衰は無視する。したがって、全ヒストリー計算終了後得られた応答関数を絶対値に規格化する必要がある。規格化は次のように行う。測定器の入射面に一様に中性子が入射したとする。すなわち n/cm^2 中性子が入射したとすると反応を起こす数は $n \Sigma_T V$ である。ここで V は Fig. 1 での領域 A, B を合わせた体積である。モンテカルロ計算で使ったヒストリーの数を n_h 、入射面積を S とすると $n = n_h/S$ なので反応を起こした数は $(n_h/S) \Sigma_T V$ である。それ故、モンテカルロ計算で求めた応答関数に $\Sigma_T V / (S \cdot n_h)$ を乗ずれば測定器に 1 個中性子が入射したときの応答関数が求まる。本コードでは $\Sigma_T V / (S \cdot n_h)$ の代わりに $\Sigma_T V / n_h$ を規格化に使った。それ故、求めた応答関数は測定器入射面全面に $1/\text{cm}^2$ の割合で中性子が入射した場合の応答関数となる。したがって、本報告で計算した応答関数を用いて unfolding を行った場合、結果として求まるのは測定器の入射面に 1 cm^2 当たり入射する中性子の数となる。

2.5 荷電粒子の飛程

^3He 原子核と中性子の反応によって生じるパルスの波高を計算するには荷電粒子が有効体積内で費やしたエネルギーを計算する必要がある、このためには荷電粒子の ^3He ガス中での飛程を知る必要がある。

荷電粒子の ^3He ガス中での飛程は Bethe の式により計算で求めた。Bethe によれば荷電粒子が物質中で飛程にそって 1 cm 当たり失うエネルギー (比エネルギー損失) $-dE/dx$ は次のようになる。

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2 Z N_a}{m_0 V^2} \left[\ln \frac{2m_0 V^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right] \quad (7)$$

ただし $ze =$ 入射荷電粒子の電荷

$Z =$ 吸収物質の原子番号

N_a = 吸収物質の 1 cm^3 中の原子数

m_0 = 電子の静止質量

V = 荷電粒子の速度

I = 物質の平均励起エネルギー

$\beta = V/C$ (C は光速)

したがって飛程 R は

$$R(E_i) = \int_0^{E_i} (-dx/dE) dE \quad (8)$$

となる。

ただし E_i = 荷電粒子の初期エネルギー

式(7)は荷電粒子のエネルギーが低いところでは成立しない。また $-dE/dx > 0$ であるから少なくとも $2m_0 V^2 > I$ すなわち $E > MI/4m_0$ であるべきである。ただし E および M は荷電粒子のエネルギーおよび質量である。たとえば、陽子の場合、 ${}^3\text{He}$ 原子の I を 44eV とすると約 20keV 以下では式(7)を用いることはできない。それ故、ここでは $R(E_i)$ を近似的に次のようにとる。

$$R(E_i) = \int_{E_{\min}}^{E_i} (-dx/dE) dE \quad (9)$$

ただし $E_{\min} = MI/4m_0$

このように $R(E_i)$ を近似すると E_i が E_{\min} に近いところでは誤差が大きいので式(9)の計算は E_i が陽子では 100keV 、重陽子では 200keV 、トリトンと ${}^3\text{He}$ では 300keV 以上の場合のみ行った。これらのエネルギーを E_{iB} と定義する。Fig. 2 に 10 気圧の ${}^3\text{He}$ ガス中での荷電粒子の飛程の式(9)による計算結果を $E_i \geq E_{iB}$ の領域で示す。

$E_i < E_{iB}$ では

$$R(E_i) = R(E_{iB}) \cdot E_i/E_{iB} \quad (10)$$

とした。ただし $R(E_{iB})$ は式(9)による計算値である。

2.6 反応の取り扱いおよびパルス波高の計算

${}^3\text{He}$ 原子核と中性子の反応としては次の5種類がある。

- (1) ${}^3\text{He} (n, p) T$ 全ての中性子 ($Q=764\text{keV}$)
- (2) ${}^3\text{He} (n, n) {}^3\text{He}$ 全ての中性子
- (3) ${}^3\text{He} (n, d) D$ 4.36MeV 以上の中性子
- (4) ${}^3\text{He}(n, p, n)D$ 7.32MeV 以上の中性子
- (5) ${}^3\text{He}(n, p, 2n)H$ 10.3MeV 以上の中性子

これらの反応のうち(4)と(5)はしきいエネルギーが極めて高くかつ断面積も小さいので応答関数への寄与は極めて少ないと考えられるので無視した。したがって、本コードでは(1)~(3)の3種類の反応を取り扱う。

ここでは中性子が比例計数管の軸に平行に入射した場合の最初の反応の取り扱いのみを説明する。中性子が管軸に垂直に入射した場合も同様に扱うことができる。また最初 ${}^3\text{He} (n, n) {}^3\text{He}$ 反応を起こした中性子が再び ${}^3\text{He}$ 原子核と反応を起こす確率は極めて少ないのでその取り扱いに関する説明は省略する。

さて(1)~(3)の反応は一般的に $X(n, A)B$ なる反応として取り扱うことができる。ただし発熱量を Q (正または0または負)とする。粒子 X, n, A および B の質量をそれぞれ m_X, m_n, m_A および m_B とし、座標系は X 軸が管軸(心線)に一致するようにとる。入射中性子の速度を $v_n(\text{cm/sec})$ 、エネルギーを $E_n(\text{eV})$ とすると

$$v_n = \sqrt{E_n \times C_f} \quad (11)$$

である。中性子と粒子 X の重心の実験室系での速度 V_c は

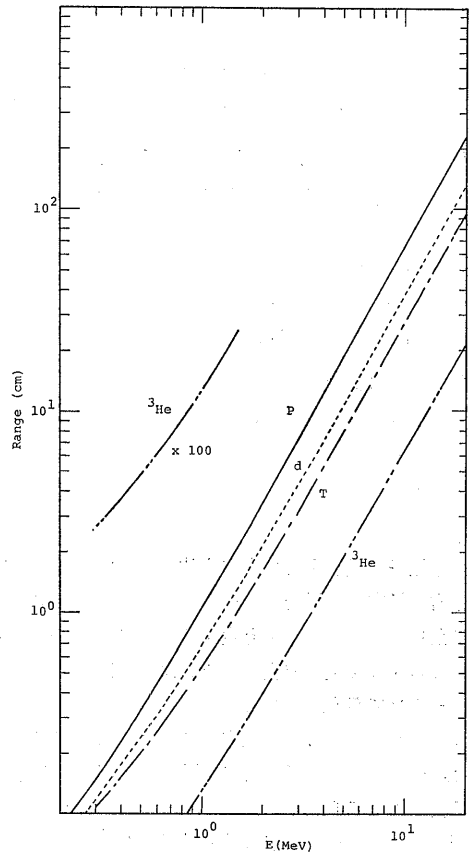


Fig. 2 Range and energy relation in $10 \text{ atm. } {}^3\text{He}$ gas

$$V_c = \alpha v_n \quad (12)$$

となる。

$$\text{ただし } \alpha = m_n / (m_X + m_n)$$

また重心系で粒子 A と B が合わせ持つエネルギー $(E_{AB})_C$ は

$$(E_{AB})_C = \beta E_n + Q \quad (13)$$

となる。

$$\text{ただし } \beta = m_X / (m_X + m_n)$$

重心系での粒子 A および B のエネルギー $(E_A)_C$ および $(E_B)_C$ とすると

$$(E_A)_C = \delta (E_{AB})_C \quad (14)$$

$$(E_B)_C = \gamma (E_{AB})_C \quad (15)$$

である。

$$\text{ただし } \gamma = m_A / (m_A + m_B)$$

$$\delta = m_B / (m_A + m_B)$$

それ故 A , B の重心系での速度は式(5)よりそれぞれ

$$V_A = \sqrt{(E_A)_C \cdot C_f \cdot (m_n / m_A)} \quad (16)$$

$$V_B = \sqrt{(E_B)_C \cdot C_f \cdot (m_n / m_B)} \quad (17)$$

となる。したがって粒子 A の重心系での方向余弦を (u_0, v_0, w_0) とすると実験室系での粒子 A の速度成分は

$$\left. \begin{aligned} v_{AX} &= V_C + u_0 V_A \\ v_{AY} &= v_0 V_A \\ v_{AZ} &= w_0 V_A \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

となる。また粒子 B の場合は

$$\left. \begin{aligned} v_{BX} &= V_C - u_0 V_B \\ v_{BY} &= -v_0 V_B \\ v_{BZ} &= -w_0 V_B \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

である。

荷電粒子の重心系での方向余弦 (u_0, v_0, w_0) は角度分布が等方的な場合は $u_0^2 + v_0^2 + w_0^2 = 1$ となるような乱数 u_0, v_0, w_0 を発生することにより決定する。このような乱数発生ルーチンは O5R コードの乱数ルーチンに組み込まれている。 ${}^3\text{He} (n, p) T$ 反応および ${}^3\text{He} (n, d) D$ 反応はこのようにして取り扱った。 ${}^3\text{He} (n, n) {}^3\text{He}$ 反応の場合は非等方性を考慮して次のように取り扱う。

${}^3\text{He} (n, n) {}^3\text{He}$ 反応の微分断面積を $d\sigma(E_j, \mu) / d\Omega$ とし積算微分断面積 $Q_i(E_j)$ を次のように定義する。

$$(344)$$

$$Q_i(E_j) \equiv \int_{-1}^{\mu_i} \frac{d\sigma(E_j, \mu)}{d\Omega} d\mu - \int_{-1}^1 \frac{d\sigma(E_j, \mu)}{d\Omega} d\mu \quad (i=1, 2, \dots, i_{\max}) \quad (20)$$

ただし $\mu_1 = -1$, $\mu_{i_{\max}} = 1$ とする。

それ故 $0 \leq Q_i(E_j) \leq 1$

したがって、0 から 1 までの一様乱数 R を発生させれば中性子が X 軸に平行に入射した場合

$$Q_i \leq R \leq Q_{i+1} \quad (21)$$

ならば方向余弦 u_0 は

$$u_0 = \mu_i + (\mu_{i+1} - \mu_i)(R - Q_i) / (Q_{i+1} - Q_i) \quad (22)$$

と決定する。 v_0, w_0 は O5R コードの乱数ルーチンを利用して $a^2 + b^2 = 1$ となるように乱数 a, b を発生させ

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= a \sqrt{1 - u_0^2} \\ w_0 &= b \sqrt{1 - u_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

と決定する。

粒子 A, B の実験室系での速度の方向余弦はそれらをそれぞれ $(\mu_{AX}, \mu_{AY}, \mu_{AZ})$ および $(\mu_{BX}, \mu_{BY}, \mu_{BZ})$ とすると

$$\left. \begin{aligned} \mu_{AX} &= \frac{v_{AX}}{\sqrt{v_{AX}^2 + v_{AY}^2 + v_{AZ}^2}} \\ \mu_{AY} &= \frac{v_{AY}}{\sqrt{v_{AX}^2 + v_{AY}^2 + v_{AZ}^2}} \\ \mu_{AZ} &= \frac{v_{AZ}}{\sqrt{v_{AX}^2 + v_{AY}^2 + v_{AZ}^2}} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_{BX} &= \frac{v_{BX}}{\sqrt{v_{BX}^2 + v_{BY}^2 + v_{BZ}^2}} \\ \mu_{BY} &= \frac{v_{BY}}{\sqrt{v_{BX}^2 + v_{BY}^2 + v_{BZ}^2}} \\ \mu_{BZ} &= \frac{v_{BZ}}{\sqrt{v_{BX}^2 + v_{BY}^2 + v_{BZ}^2}} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

となる。また実験室系での各粒子のエネルギー $(E_A)_L$ $(E_B)_L$ (eV) は

$$\left. \begin{aligned} (E_A)_L &= (m_A / m_n)(v_{AX}^2 + v_{AY}^2 + v_{AZ}^2) / C_f \\ (E_B)_L &= (m_B / m_n)(v_{BX}^2 + v_{BY}^2 + v_{BZ}^2) / C_f \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

となる。荷電粒子のエネルギー (式(26)) と飛程の関係を用いれば粒子 A, B の飛程を決定することができる。

次に反応の起こった位置を (x_0, y_0, z_0) とするとこの点と粒子 A, B の飛程の終端を結ぶ直線はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \frac{x-x_0}{\mu_{AX}} = \frac{y-y_0}{\mu_{AY}} = \frac{z-z_0}{\mu_{AZ}} \\ \frac{x-x_0}{\mu_{BX}} = \frac{y-y_0}{\mu_{BY}} = \frac{z-z_0}{\mu_{BZ}} \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

と表される。一方 ^3He ガスの存在する領域の境界面は座標系の原点を ^3He ガスの存在する領域の境界面のうちの中性子の入射面内にとると

$$\left. \begin{aligned} y^2 + z^2 = R^2 \\ X = 0 \\ X = L \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

で表される。ここで R は ^3He 比例計数管の半径, L は ^3He ガスの存在する領域の管軸方向の長さである。また有効体積の境界面は

$$\left. \begin{aligned} X = X_1 \\ X = X_2 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

で表すことができる。ただし $0 < x_1 < x_2 < L$ である。(27), (28), (29)式を用いれば荷電粒子の飛程と ^3He 比例計数管の管壁または有効体積の境界面との交点は容易に求めることができ、したがって有効体積内, 外の飛程を決定することができる。

荷電粒子による ^3He 原子のイオン化によって生じるパルスの波高の計算は次の4つの場合に分けて行った。すなわちエネルギー E と飛程 R の関係を $E=E(R)$ で表すとパルス波高 h は

- (1) 荷電粒子が有効体積内で発生し有効体積内で停止した場合

$$h = AE_i \quad (30)$$

ただし $E_i =$ 荷電粒子の初期エネルギー

$A =$ 比例定数

- (2) 荷電粒子が有効体積内で発生し有効体積外で停止した場合

$$h = A(E_i - E(R_{\text{OUT}})) \quad (31)$$

ただし $R_{\text{OUT}} =$ 有効体積外の飛程

- (3) 荷電粒子が有効体積外で発生し有効体積内で停止した場合

$$h = AE(R_{\text{IN}}) \quad (32)$$

ただし $R_{\text{IN}} =$ 有効体積内の飛程

- (4) 荷電粒子が有効体積外で発生し有効体積内を通り再び有効体積外へ飛び出した場合

$$h = A(E(R_2 + R_3) - E(R_3)) \quad (33)$$

ただし $R_2 =$ 有効体積内の飛程

$R_3 =$ 有効体積外に飛び出した後の飛程

となる。なおパルス波高は相対値で充分なので本コードでは $A=1$ とし, エネルギー (eV単位) をそのま

ま波高と対応させた。

2.7 スメア

以上のようにしてモンテカルロ計算で求めた応答関数はそのままでは実際の応答関数と一致しない。たとえば一定のエネルギーを持った荷電粒子がその全てのエネルギーを有効体積内で費やした場合そのパルス波高値の分布はモンテカルロ計算では一定の波高値のところのみに現れるが実際の場合は測定系の分解能に基づいたある広がりをもって分布する(この実際の場合の波高分布は近似的にガウス分布で表すことができる)。したがって, モンテカルロ計算で求めた応答関数に実際の応答関数と対応するように修正を加える必要がある。この修正の過程をスメアと呼ぶ。

比例計数管の場合, 分解能は一次イオンの数の統計的変動, δ -ray の発生による一次イオンの数の変動, 心線の太さが一様でないために生ずる電界のゆがみが原因して起こる場所による増幅率の変動(心線の太さを完全に一様にするのは大変難しい上に心線の直径のわずかな変化が増幅率に及ぼす影響は大きい), 増幅過程で起こる増幅率の統計的変動, エレクトロニクス系のゆらぎなどによって決定されると考えられる。これらの現象を正確にスメアにとり入れるのは極めて困難であるが分解能の原因の大部分が統計現象によって支配されていると考えられるので, ここでは次の仮定に基づいてスメアを行う。すなわち, 有効体積内で一定のエネルギー E が荷電粒子によって費やされたとき生じるパルスの波高分布はガウス分布しその半値幅(Full Width at Half Maximum) Γ は \sqrt{E} に比例する(1次イオンの数は E に比例する)と仮定する。半値幅 Γ の規格化は熱中性子による $^3\text{He}(n, p)T$ 反応の波高分布のピーク部における半値幅を用いる。したがって

$$\Gamma = \Gamma_0 \sqrt{E/Q} \quad (34)$$

となる。

ただし $\Gamma_0 =$ 熱中性子による $^3\text{He}(n, p)T$ 反応の波高分布のピーク部の半値幅

$$Q = 764 \text{ keV}$$

スメアの手順は次の通りである。モンテカルロ計算終了後 j 番目のエネルギーグループに属するヒストリーの数を n_j とするとスメアによって j 番目のエネルギーグループから i 番目のエネルギーグループに配分されるヒストリーの数 $\Delta n_{j \rightarrow i}$ は

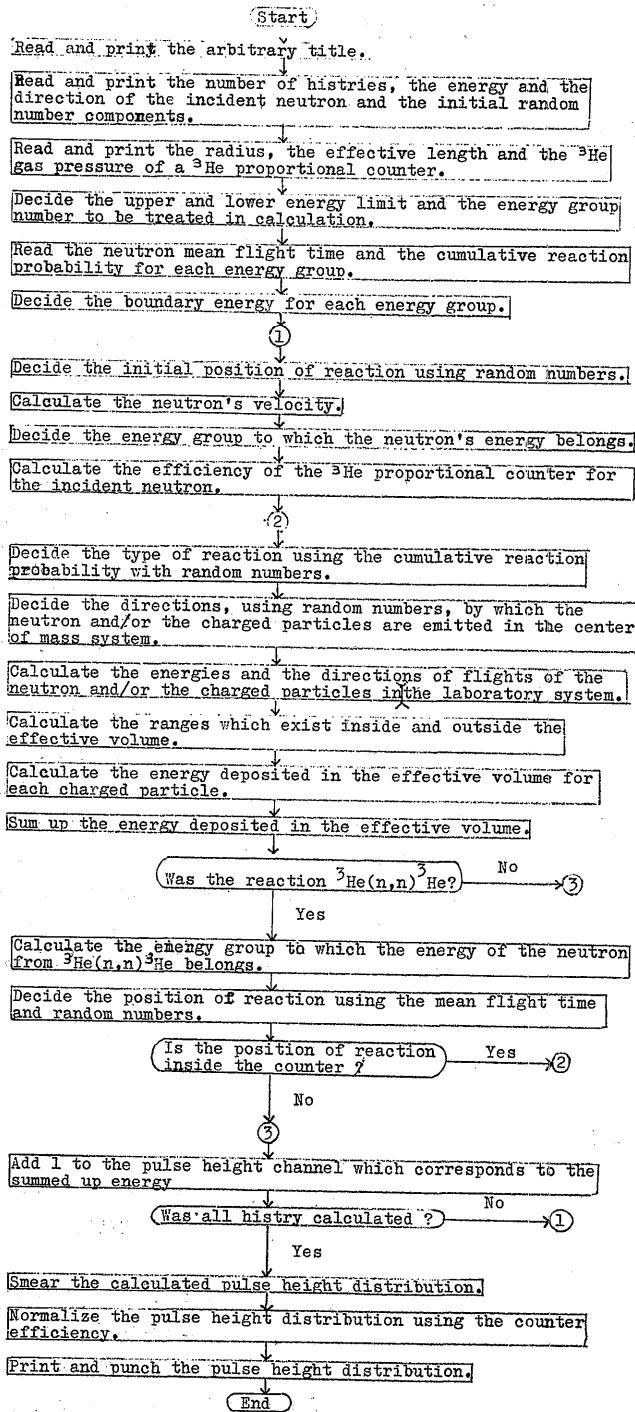


Fig. 3 Flowsheets of MCR 1 code

$$\Delta n_{j \rightarrow i} = \int_{\Delta E_i} n_j c e^{-\ln 2 \left(\frac{E - E_j}{\Gamma_j / 2} \right)^2} dE \quad (35)$$

となる。

ただし $E_j = j$ 番目のエネルギーグループに対応するエネルギー

$\Delta E_i = i$ 番目のエネルギーグループ幅

$$\Gamma_j = \Gamma_0 \sqrt{E_j / Q}$$

$$c = (2/\pi) (\sqrt{\ln 2} / \Gamma_j)$$

したがって最終的に i 番目のエネルギーグループでのヒストリーの数 N_i は

$$N_i = \sum_{j=1}^{j_{\max}} \Delta n_{j \rightarrow i} \quad (36)$$

となる。

ただし j_{\max} = 取り扱う最大のエネルギーグループ番号

以上、MCR1 コードの内容と計算法について述べたが、MCR1 コードは全部のリストを記載するには大きすぎるので本報告では Fig. 3 にそのフローチャートを示すこととどめる。ただし、同図の入力および出力の部分では便宜上いくつかの入力および出力データが省略されている。

3. MCR1 コードの検討と応答関数の計算

3.1 実験

MCR1 コードの精度を検討するため日本原子力研究所の 2 MeV バンデグラフを用いて実験的に応答関数を求めた。実験で用いた ^3He 比例計数管は Texas Nuclear 社の Model #311 で ^3He ガス圧 10 気圧、直径 1 インチ、有効長 4 インチである。Fig. 4 に実験で用いた電子回路を示す。 ^3He 比例計数管 (HEAD) は熱中性子による $^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応の波高分布に及ぼす影響を少なくするため 1 mm 厚さのカドミウムで覆った。 ^3He 比例計数管で発生したパルスは

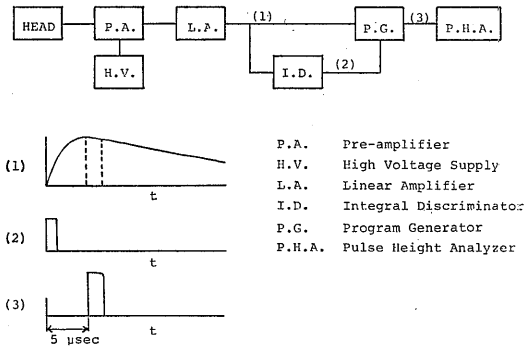


Fig. 4 Block diagram of the spectrometer electronic system

前置増幅器 (P. A.) を経て主増幅器 (L. A.) に入る。ここで増幅されたパルスは Fig. 4 (1) に示すような形をしており立ち上がり時間は中性子と ^3He 原子核の反応の種類や荷電粒子の飛行方向によって異なるが最大で約 $5 \mu\text{sec}$ である。また減衰時間は約 $100 \mu\text{sec}$ である。主増幅器の出力パルスは二手に分かれ、一方は遅延回路とリニア・ゲートを組み合わせたプログラム・ジェネレーター (P. G.) に直接入りリニア・ゲートのリニアパルスとなる。他方は Integral Discriminator (I. D.) に入り Fig. 4 (2) に示したような矩形波を生じさせる。この矩形波はプログラム・ジェネレーターの遅延回路を通りリニア・ゲートのゲートパルスとなる。

本実験では主増幅器の出力パルスの立ち上がりから $5 \mu\text{sec}$ のところでゲートが開かれるように遅延時間を設定した。またゲートの開いている時間は $2 \mu\text{sec}$ とした。したがって、プログラム・ジェネレーターの出力パルスは Fig. 4 (3) に示したように主増幅器の出力パルスの立ち上がりから $5 \mu\text{sec}$ から $7 \mu\text{sec}$ のところの波高を持ち幅約 $2 \mu\text{sec}$ の矩形波となる。このパルスの波高は ^3He 比例計数管の有効体積内で荷電粒子が費やしたエネルギーに比例している。プログラム・ジェネレーターの出力パルスは波高分析器 (P. H. A.) に入る。

^3He 比例計数管は中性子とその管軸に平行に入射するように設定した。また中性子線源から ^3He ガス領域の先端部までの距離は 21.7cm とした (この距離は ^3He 比例計数管の有効体積内での中性子束の強度を大きくする目的で設定されたもので数値そのものに特に意味はない)。発生させた単色中性子のエネルギーは

0.939MeV および 2.08MeV でそれぞれ T (p, n) ^3He 反応および D (d, n) ^3He 反応を用いて発生させた。標的 (T および D) はいずれの場合もガス標的 (gas target) を用いた。また、これらの中性子エネルギーは波高分布測定後、熱中性子による ^3He (n, p) T 反応の波高分布のピークが存在するチャンネルと波高分析器の直線性から求めたものである。

本測定系の分解能 Γ_0 は日本原子力研究所の JRR-4 原子炉の水遮蔽体中で熱中性子による ^3He (n, p) T 反応の波高分布を測定することにより決定した。その結果 $\Gamma_0 = 44\text{keV}$ なる値を得た。

3.2 計算値と実験値の比較

MCR1 コードの精度の検証を行うため、日本原子力研究所の 2MeV バンデグラーフを用いて単色中性子を発生させ実験的に応答関数を求めた。

Fig. 5 に計算および実験で求めた応答関数の比較を示す。応答関数の実験値と計算値を比較する場合、次の点に注意する必要がある。すなわち実験においては

- (1) 入射中性子はエネルギー的にある広がりを持つ、すなわち完全な単色中性子ではない。
- (2) 中性子は平行ビームではない。

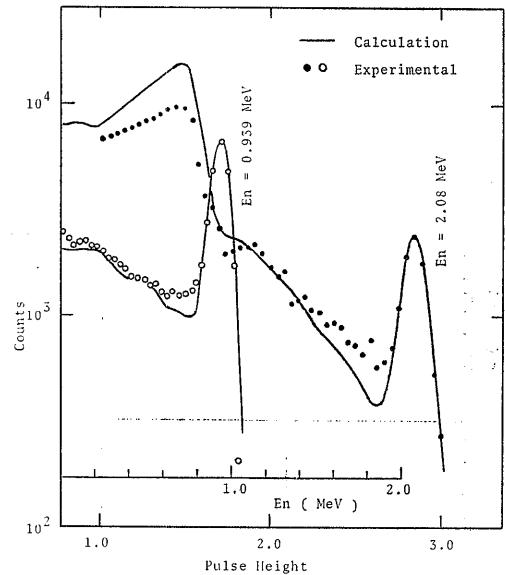


Fig. 5 Comparison between measured and calculated response functions of the ^3He proportional counter

(1)は加速された単色の荷電粒子(陽子または重陽子)が標的の原子核と反応する前に標的を構成しているニッケル箔および標的ガスと相互作用をする際に不均一なエネルギー損失をすることによる。

たとえば $E_n=2.08\text{MeV}$ の場合、実験で求めた波高分布の ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応のピーク部 (E_n+Q に対応する)の半値幅は 165keV であるが式(34)を使って求めた半値幅は 82.3keV である(ただし $\Gamma_0=44\text{keV}$)。この差は重陽子のエネルギーの広がりとして解釈できる。

(2)に関しては実験では中性子の強度は近似的に $1/r^2$ (r は標的すなわち線源からの距離)に比例する。いい変えればと計数管内での中性子と ${}^3\text{He}$ 原子核の相互作用の確率は $1/r^2$ に比例する。それ故 ${}^3\text{He}$ ガス領域の最も線源に近い側と最も遠い側での反応の起こる割合の比率は2対1となる。したがって、計算は次のように行った。

(1) E_n+Q に対応する ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応のピークの半値幅 Γ が実験値と一致するように Γ_0 をえらびスミアを行う。

(2) 反応の確率が $1/r^2$ に比例するので計数管内での反応位置の x 座標(軸方向)を次のように0から1までの一様乱数 R を用いて決定する。線源から計数管内の ${}^3\text{He}$ ガスの存在する領域の先端(線源に近い側)までの距離を a , ${}^3\text{He}$ ガスの存在する領域の x

軸方向の長さを l , 線源から反応の起こる位置までの距離を ρ とすると ρ は近似的に $a+x$ と表せるので反応の起こる確率 $P(x)$ は

$$P(x) = k/(x+a)^2 \quad (37)$$

となる。ただし k は比例定数

$$\int_0^l P(x) dx = 1 \quad (38)$$

より k を決定すると

$$k = a(l+a)/l \quad (39)$$

となる。したがって

$$\int_0^x P(x) dx = R \quad (40)$$

より反応位置 x は

$$x = \frac{a(l+a)}{l+a-lR} - a \quad (41)$$

と決定される。

なお、計算においては ${}^3\text{He}$ の断面積は Als-Nielsen によってまとめられたもの⁹⁾(Fig. 6)から、また ${}^3\text{He}(n, n){}^3\text{He}$ 反応の微分断面積は BNL-400-supplement¹⁰⁾ から取った。ただし BNL-400 にはエネルギーに関して十分な数の断面積がないので必要なエネルギーに対応する断面積は内挿によって求めた。有効体積外に存在する ${}^3\text{He}$ ガスは外形寸法から計算して両端に 1.1cm ずつとした。

さて、Fig. 5 は実験値と計算値を ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応のピーク部で規格化して示したもので相対的な形の比較であるが $E_n=2.08\text{MeV}$ の ${}^3\text{He}(n, n){}^3\text{He}$ 反応の波高分布(同図で $E_n \leq 800\text{keV}$ の部分)の形が実験値と計算値で異なること、また計算では ${}^3\text{He}(n, n){}^3\text{He}$ 反応を起こしたものの数と ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応を起こしたものの数の比が実験より大き目にてていることがわかる。前者に関しては原因は計算で用いた ${}^3\text{He}(n, n){}^3\text{He}$ 反応の微分断面積の精度が良くないことにあると結論できる。なぜなら、この部分の形は ${}^3\text{He}(n, n){}^3\text{He}$ の微分断面積によって決定されるからである。また、この部分の形に関しては実験誤差は少ないと考えられることもその理由の一つである。後者に関しては必ずしも計算値の精度が悪いとは結論できない。なぜなら、実験値には background の補正がなされていないからである (backgro-

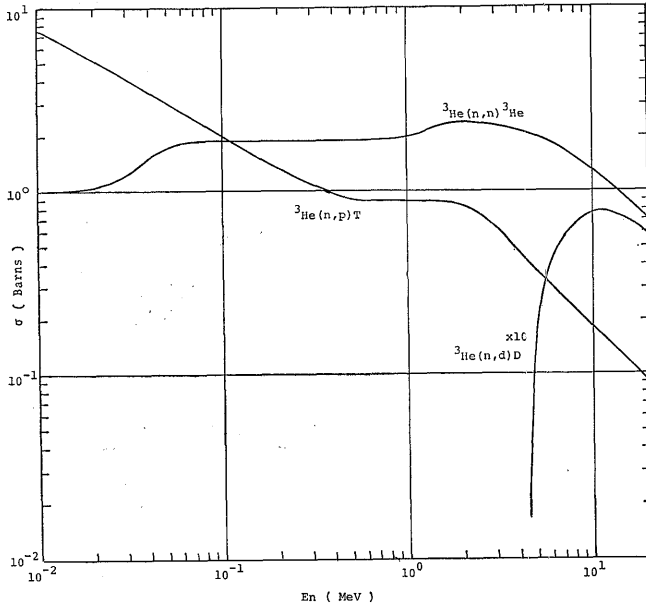


Fig. 6 Neutron cross sections of ${}^3\text{He}$

undの補正は極めて困難である)。backgroundは ${}^3\text{He}$ (n, p) T 反応による波高分布 ($E_n > 800\text{keV}$) を持ち上げる傾向にある。

以上、述べたように実験値と計算値に不一致が見られるものの全般的にいて実験値と計算値の一致はかなり良い。

3.3 応答関数の計算例

MCR1 コードを用いてすでに3.1で述べた Texas Nuclear 社製 Model #311 ${}^3\text{He}$ 比例計数管の応答関数を計算した。計算条件は中性子を軸方向に計数管入射面全面に平行入射させたこと、および $\Gamma_0 = 44\text{keV}$ としてシミュレーションを行ったこと以外は3.2で述べた通りである。

入射中性子のエネルギーは20 keV から 100 keV までは20keV間隔、100keV から 2 MeV までは100keV間隔、2 MeV から 3 MeV までは200keV 間隔、そして3 MeV から 5 MeV までは1 MeV 間隔で全部で31点とった。計算ヒストリーの数は20—80 keV で、20,000、100—900 keV で40,000、1—4 MeV で75,000、そして5 MeVで120,000である。計算時間はFACOM 230/60で1ヒストリー当たり約1/40秒である。

Fig. 7 および Table 1 に結果を示す。これらの図または表には熱中性子に対する ${}^3\text{He}$ (n, p) T 反応の波高分布のピークに対応する波高以上の波高分布のみを示してある。Fig. 7 には1 MeV から 5 MeV の応答関数を1 MeV 間隔で示す。Table 1 では最初に入射中性子エネルギーを MeV 単位で、続いてそのエネルギーに対する応答関数が示されている。応答関数は中性子が ${}^3\text{He}$ 比例計数管の入射面全面に $1/\text{cm}^2$ の割合で入射したとき eV 当たり起こる事象の数を示す。各数値に対応する波高は最初が0 keV つづいて20 keV、40 keV……と20keV間隔でとられている。

なお、実際に unfoldieg をする場合、ここで求めた31点の応答関数では中性子エネルギー点数が不足することが予想されるので、ここで求めた応答関数から内挿法によって必要なエネルギー点数の応答関数を求めるコードの説明およびそのコードを用いて求めた80×80のマトリッ

クスを付録に示す。

4. 天然ウラン体系中のスペクトル測定

ここでは ${}^3\text{He}$ 比例計数管を用いた中性子スペクトル測定の一例として東京大学の高速炉「弥生」における天然ウラン体系中での中性子スペクトルの測定について述べる。天然ウラン体系は $24'' \times 24'' \times 32''$ の直方体で炉心の上方に $24'' \times 24''$ の面が底面となるように組み立てられた。炉心（集合体）からウラン体系の底面までは197cmで炉心の次には鉛の反射体（厚さ20cm）がある。反射体からウラン体系の底面までは空気中で中性子はウラン体系底面の $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ の領域に入射するように並コンクリートでコリメートされた。さらに、天然ウラン体系には中性子スペクトル測定用の穴（実験孔）が底面より $16''$ のところから上方に口径 $5'' \times 5''$ であけられ、その出口に ${}^3\text{He}$ 比例計数管をその軸が実験孔の軸と一致するように置かれた。Fig. 8 に実験配置を示す。 ${}^3\text{He}$ 比例計数管は熱中性子を除くためにカドミウム（厚さ1mm）で覆い、さらにその側面は周辺からの低速中性子を除去するために B_4C の

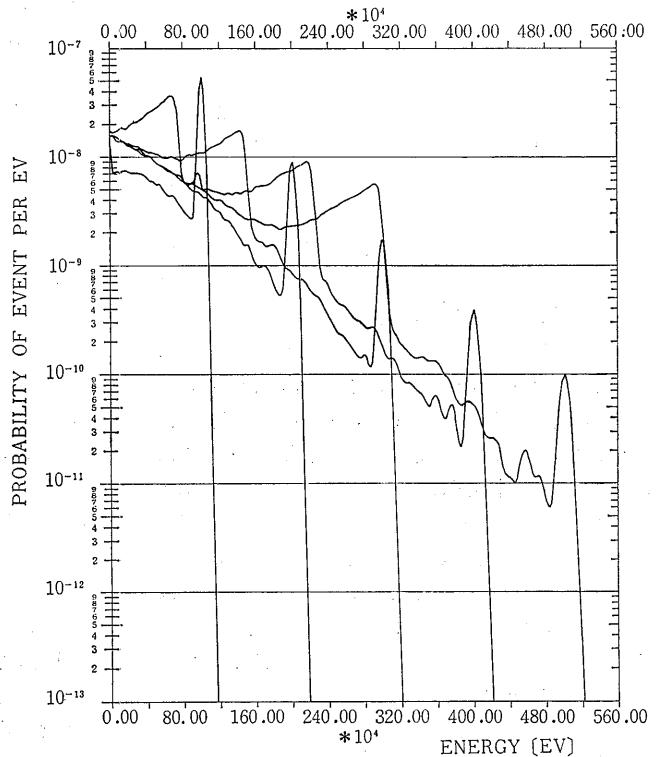


Fig. 7 Response functions calculated by MCR 1 code

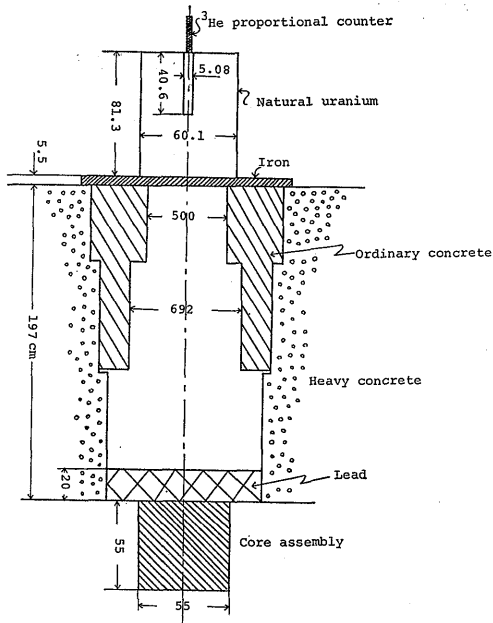


Fig. 8 Experimental configuration for neutron spectrum measurement in natural uranium

粉末をつめた筒(厚さ1cm, B_4C の厚さ0.8cm)で覆った。Fig. 8 からわかるように測定した中性子スペクトルは天然ウラン体系の中心の位置での中性子束のうち上方向成分に関するものである。用いた ^3He 比例計数管は3.1で述べたものと同じものである。また電子回路も前述のものである。原子炉は ^3He 比例計数管からのパルスの重なりを避けるため毎秒のパルスの数が100個すなわち主増幅器の出力パルスに対して $n\tau = 0.01$ となるように20Wattで運転した。ただし n は毎秒当たりのパルスの数、 τ は主増幅器の出力パルスの減衰時間で $100\mu\text{sec}$ である。測定した波高分布はカドミウムと B_4C で低速中性子の除去を試みたにもかかわらず熱中性子による $^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 反応によって生ずるパルス波高(wall and end effectを受けていないもの、以下これを h_0 と表す)に対応するところのピークが極めて大きくカドミウムや B_4C では除去できない数百eVから数keVの領域の中性子が非常に多いことを示した。このため波高分布には $2h_0$ に対応するところに小さなピークが現れた。Fig. 9に測定した波高分布を示す。ただし、この波高分布は $2h_0$ に対応するところの小さなピークを除去した後のものである。この波高分布をFERDOコード⁵⁾およ

びすでに計算した応答関数を用いて unfolding した結果を Fig. 10 に示す。また、同図には拡散計算によるスペクトル¹¹⁾も同時に示す。ただし、計算によるスペクトルはスカラスペクトルである。計算は、JEARI-FAST SET を用いて行われ、線源は核分裂スペクトルを持つ中性子がウラン体系底面に垂直に入射するとして取り扱われた。Fig. 10 に示した実験値および計算値は共に相対値で両者は150keVのところを実験値と25エネルギーグループを用いた計算値が一致するように規格化されている。実験値は100keVから500keVの領域では70グループの計算値と極めて良く一致しているが500keV以上ではむしろ25グループの計算値に一致する傾向を示す。しかし計算では当然70グループのものが25グループのものより精度が良いと思われるので実験で求めたスペクトルは計算で求めたものより多少「硬い」スペクトルであるといえる。このことは測定したスペクトルはウラン体系中心点での中性子束の上方向成分に対するものであり、計算したものは同じ点でのスカラ束に対するものであるので測定したスペクトルが計算したものより多少「硬い」スペクトルであることが予想されるので妥当な結果であると言えるかもしれない。しかしながら、ここではウラン体系、原子炉を含めた全体の幾何形状が複雑であるため、計算を絶対値で行うことが極めて難しいので比較が相対値で行われていることから断定的な結論を述べることはできない。それ故、計算精度の検討ということではカウンターを体系内に埋め込み絶対測定を行い、かつ、計算も絶対値で行い比較検討することが望まれる。

5. 結 言

本研究により次のことが明らかになった。

(1) これまで ^3He 比例計数管を用いて中性子スペクトルの測定を行う場合、応答関数は実験的に求めねばならなかったがMCR1コードの作成により、これを計算で求めることが可能となった。

(2) $^3\text{He}(n, n)^3\text{He}$ 反応の微分断面積には問題があるようで、今後の精度の向上が望まれる。

さらに、今後次のことが行われることが望まれる。

(1) 応答関数の精度検討のため、他の測定器、たとえば水素比例計数管等で測定した中性子スペクトルと ^3He 比例計数管で求めたものとの比較検討。

(2) 現在、原子炉から出てくる中性子のエネルギースペクトルの測定において測定可能なエネルギー範囲

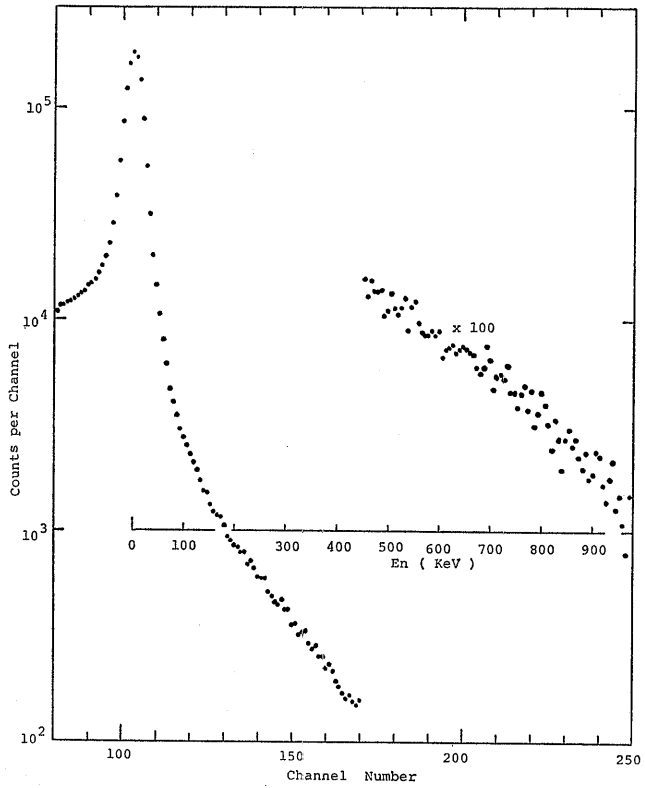


Fig. 9 Measured pulse height distribution

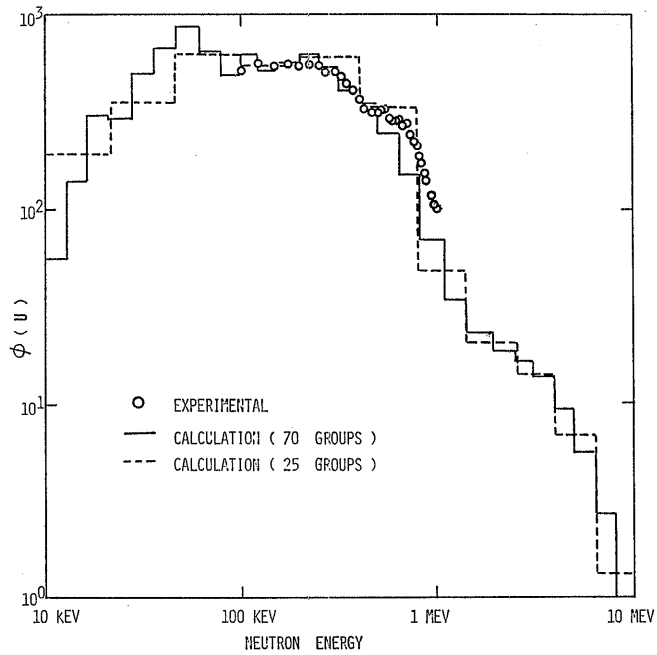


Fig. 10 Comparison between calculated and measured neutron spectrum in natural uranium

の上限は約 2 MeV 程度で、それ以上は ${}^3\text{He}$ (n, n) ${}^3\text{He}$ 反応によるパルスの存在のため測定が難しいので、計数管の構造あるいは測定回路系の改善を行うことにより測定可能なエネルギー範囲の上限をさらに広げること。

終りに天然ウラン体系中での中性子スペクトルの計算値を提供して下さった日本原子力研究所の飯島勉博士に深く感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) Brown, W. K., "A Method of Extending the Energy Range of the Helium-3 Neutron Spectrometer," Nucl. Inst. & Meth. 26 1 (1964)
- 2) Sayres, A. et al., " ${}^3\text{He}$ Neutron Spectrometer Using Pulse Risetime Discrimination," Rev. Sci. Instr. 35 431 (1964)
- 3) Wang, H., "Inversion Matrix for a Helium-3 Fast Neutron Spectrometer," UCRL-10770 (1963)
- 4) Iijima, T., et al., "Measurement of Fast Neutron Spectrum with Helium-3 Proportional Counter," J. Nucl. Sci. Technol. 8 192 (1971)
- 5) Burrus, W. R. et al., "Recent Developments in the Proton-Recoil Scintillation Neutron Spectrometer," ANS-SD-2 (1964)
- 6) Fuse, T. et al., "Neutron Spectroscopy with a ${}^3\text{He}$ Proportional Counter," Nucl. Instr. & Meth. 74 322 (1969)
- 7) Textor, R. E. et al., "O5S: A Monte Carlo Code for Calculating Pulse Height Distributions due to Monoenergetic Neutrons Incident on Organic Scintillators," ORNL-4160 (1968)
- 8) Irving, D. C. et al., "O5R, A General-Purpose Monte Carlo Neutron Transport Code," ORNL-3622 (1965)
- 9) Als-Nielsen, J., "Neutron Cross Sections for ${}^3\text{He}$ in the Range 0-10 MeV," CCDN-NW 16 (1967)
- 10) Garber, D. I., "Angular Distribution in Neutron-Induced Reactions," BNL-400 Third Edition, Vol. I
- 11) Iijima, T., private communication.

付 録

与えられた応答関数マトリックス $A(I, J)$ から任意の波高点, エネルギー点を持つマトリックス $P(K, L)$ を内挿によって求めるコード NORMA の内容および計算例を以下に示す。なお, 計算例は実際に unfolding を行う際, 最もよく用いられると思われる波高点, エネルギー点を持つ応答関数マトリックスを求めたものである。

1. 内挿法

$A(I, J)$ および $R(K, L)$ の波高点, エネルギー点を次のように定義する。

$A(I, J)$ の場合

波高 $U(I) \quad I=1, \text{IMAX}$
エネルギー $EA(J) \quad J=1, \text{JMAX}$

$R(K, L)$ の場合

波高 $V(K) \quad K=1, \text{NR}$
エネルギー $ER(L) \quad L=1, \text{NC}$

内挿は $A(I, J)$ ($I=1, \text{IMAX}$) を主として ${}^3\text{He}$ (n, n) ${}^3\text{He}$ 反応による部分と ${}^3\text{He}$ (n, p) T 反応による部分に分けて行う。二つの反応の境界に対応する波高を $IR(J)$ とする。すなわち, $IR(J)$ は ${}^3\text{He}$ (n, n) ${}^3\text{He}$ 反応の肩の部分が落ちて比較的平坦な ${}^3\text{He}$ (n, p) T 反応の部分にうつるところの波高に対応する。また ${}^3\text{He}$ (n, n) ${}^3\text{He}$ の肩の部分での $A(I, J)$ の最大値に対応する波高を $IG1(J)$, ${}^3\text{He}$ (n, p) T 反応のピークに対応する波高を $IG2(J)$ とする。(以上 Fig. 11 参照)

いま $EA(J-1) \leq ER(L) < EA(J)$

とし

$$\begin{aligned} ID &= IG1(J) - IG1(J-1) \quad I \leq IR(J-1) \\ &= IG2(J) - IG2(J-1) \quad I > IR(J-1) \end{aligned}$$

とすると, $ER(L)$ に対応する応答関数 $R(K, L)$ を次のようにして求める。

まず, $A(I, J-1)$ と $A(I+ID, J)$ を用いて $ER(L)$ に対応する応答関数 $R(I, L)$ を $V(K)$ と異なる波高 $U(I, L)$ のところで求める。

$$\begin{aligned} UT(I, L) &= U(I1) + \{ER(L) - EA(J-1)\} \\ &\quad \times \{U(I2) - U(I1)\} / \{EA(J) \\ &\quad - EA(J-1)\} \\ R(I, L) &= \exp[\ln A(I1, J-1) + \{\ln A(I2, J) \\ &\quad - \ln A(I1, J-1)\} \times \{UT(I, L) \\ &\quad - U(I1)\} / \{U(I2) - U(I1)\}] \end{aligned}$$

ただし $I1 = I$ $I2 = I + ID$

$R(K, L)$ ($K=1, NR$) は $R(I, L)$, $UT(I, L)$ ($I=1, I_{max}$) と $V(K)$ ($K=1, NR$) を用いて再び内挿によって求める。

すなわち

$$UT(I-1, L) \leq V(K) < UT(I, L)$$

とすると

$$R(K, L) = \exp[\ln R(I-1, L) + \{\ln R(I, L) - \ln R(I-1, L)\} \times \{V(K) - UT(I-1, L)\} / \{UT(I, L) - UT(I-1, L)\}]$$

となる。

2. 入力形式

- (1) I_{max}, J_{max} (2 I 10)
- (2) $U(I)$ ($I=1, I_{max}$) (8E10.3) (MeV 単位)
- (3) $EA(J)$ ($J=1, J_{max}$) (8E10.3) (MeV 単位)
- (4) $A(I, J)$ ($I=1, I_{max}$ $J=1, J_{max}$) (8E10.3)
- (5) $IG1(J), IG2(J), IR(J)$ ($J=1, J_{max}$) (3 I 10)
- (6) $TITLE(I)$ ($I=1, 20$) 任意の英数字 (20A4)
- (7) $NR, NC, V(1), DV, ER(1), DER$ (2 I 10, 4E10.3)

$DV=V(I)$ が等間隔の場合, その間隔
 $DER=ER(I)$ が等間隔の場合, その間隔
 NR, NC 以外はいずれも MeV 単位

- (8) $V(I)$ ($I=1, NR$) (8E10.3) (MeV 単位)
 $DV \neq 0$ のときは入力の必要なし
- (9) $ER(J)$ ($J=1, NC$) (8E10.3) (MeV 単位)
 $DER \neq 0$ のときは入力の必要なし

3. 計算例

Table 2 に計算例の結果を示す。計算例は29点の

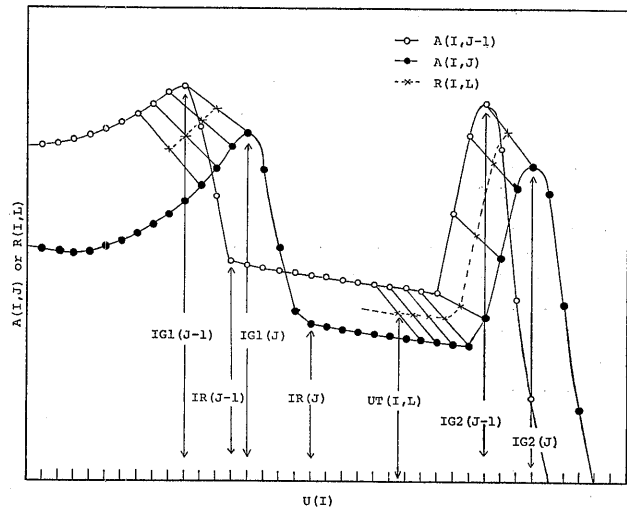


Fig. 11 Schematic explanation of the interpolation method of code NORMA

エネルギー, 163点の波高値に対する応答関数(モンテカルロ計算で求めたもの)からエネルギー, 波高共20 keV 間隔の80×80のマトリックスを作成したものである。Table 2 に示されているデータの内容は下記の通りである。

- (1) $TITLE(I)$ ($I=1, 20$)
- (2) NR, NC
- (3) $ER(L)$ ($L=1, NC$)
- (4) $V(K)$ ($K=1, NR$)
- (5) $R(K, L)$ ($(K=1, NR) L=1, NC$)

本文ですでに述べたことであるが, ここで示した応答関数 $R(K, L)$ を用いて unfolding を行った場合, 求まる結果は測定器の入射面 1 cm^2 当たりに入射する中性子の数である。

Table 1 Absolute differential efficiency versus pulse height of a ^3He proportional counter (10 atm., 1 inch in diameter and 4 inch in active length) for plane parallel beam of monoenergetic neutrons parallel to counter axis: Probability of event per eV/(1 neutron/cm²)

0.02 MEV								
6.481E-07	1.054E-06	6.330E-07	1.382E-07	1.079E-08	2.967E-10	2.896E-12	1.944E-14	
0.04 MEV								
1.056E-07	4.171E-07	6.712E-07	4.078E-07	9.214E-08	7.631E-09	2.283E-10	2.479E-12	
1.252E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.06 MEV								
1.699E-08	8.304E-08	3.212E-07	5.121E-07	3.146E-07	7.348E-08	6.437E-09	2.086E-10	
2.513E-12	9.665E-15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.08 MEV								
9.579E-09	1.518E-08	7.198E-08	2.680E-07	4.219E-07	2.617E-07	6.304E-08	5.826E-09	
2.038E-10	2.708E-12	1.607E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.10 MEV								
7.665E-09	7.750E-09	1.345E-08	6.382E-08	2.311E-07	3.604E-07	2.258E-07	5.608E-08	
5.456E-09	2.053E-10	2.992E-12	2.083E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.20 MEV								
6.608E-09	6.392E-09	6.242E-09	5.840E-09	5.362E-09	5.077E-09	5.398E-09	1.022E-08	
4.563E-08	1.467E-07	2.191E-07	1.435E-07	4.072E-08	4.965E-09	2.578E-10	5.688E-12	
5.767E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.30 MEV								
5.667E-09	5.386E-09	5.306E-09	5.509E-09	5.508E-09	5.238E-09	5.134E-09	5.055E-09	
4.748E-09	4.328E-09	3.972E-09	4.265E-09	9.251E-09	3.866E-08	1.118E-07	1.607E-07	
1.090E-07	3.452E-08	5.067E-09	3.423E-10	1.062E-11	1.563E-13	0.0	0.0	
0.40 MEV								
5.587E-09	5.556E-09	5.819E-09	5.992E-09	5.936E-09	5.658E-09	5.314E-09	5.003E-09	
4.805E-09	4.803E-09	4.793E-09	4.543E-09	4.149E-09	3.817E-09	3.580E-09	3.577E-09	
4.151E-09	9.025E-09	3.435E-08	9.152E-08	1.278E-07	8.940E-08	3.105E-08	5.322E-09	
4.479E-10	1.845E-11	3.776E-13	2.818E-15	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.50 MEV								
6.067E-09	5.993E-09	6.042E-09	5.892E-09	5.828E-09	5.770E-09	5.592E-09	5.492E-09	
5.479E-09	5.430E-09	5.287E-09	5.032E-09	4.617E-09	4.045E-09	3.687E-09	3.728E-09	
3.802E-09	3.728E-09	3.642E-09	3.719E-09	3.887E-09	4.424E-09	9.246E-09	3.180E-08	
7.836E-08	1.065E-07	7.647E-08	2.872E-08	5.616E-09	5.694E-10	2.984E-11	8.172E-13	
1.220E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.60 MEV								
6.251E-09	6.643E-09	6.694E-09	6.520E-09	6.268E-09	6.023E-09	5.923E-09	5.757E-09	
5.650E-09	5.645E-09	5.681E-09	5.654E-09	5.492E-09	5.326E-09	5.156E-09	4.893E-09	
4.662E-09	4.468E-09	4.186E-09	3.947E-09	3.996E-09	4.124E-09	3.946E-09	3.535E-09	
3.159E-09	2.955E-09	3.488E-09	8.703E-09	2.986E-08	6.988E-08	9.309E-08	6.839E-08	
2.749E-08	6.021E-09	7.164E-10	4.617E-11	1.621E-12	3.316E-14	0.0	0.0	
0.70 MEV								
6.472E-09	6.683E-09	6.822E-09	6.807E-09	6.659E-09	6.530E-09	6.575E-09	6.626E-09	
6.541E-09	6.524E-09	6.426E-09	6.067E-09	5.701E-09	5.534E-09	5.558E-09	5.516E-09	
5.324E-09	5.170E-09	5.094E-09	4.982E-09	4.797E-09	4.616E-09	4.442E-09	4.289E-09	
4.212E-09	4.097E-09	3.850E-09	3.540E-09	3.307E-09	3.142E-09	3.034E-09	3.685E-09	
8.974E-09	2.831E-08	6.235E-08	8.135E-08	6.090E-08	2.595E-08	6.273E-09	8.576E-10	
6.613E-11	2.887E-12	7.182E-14	1.995E-15	0.0	0.0	0.0	0.0	
0.80 MEV								
6.339E-09	6.589E-09	6.764E-09	6.902E-09	7.093E-09	7.221E-09	7.240E-09	7.105E-09	
6.917E-09	6.754E-09	6.760E-09	6.862E-09	6.611E-09	6.112E-09	5.842E-09	5.897E-09	
6.105E-09	6.162E-09	5.876E-09	5.551E-09	5.480E-09	5.491E-09	5.408E-09	5.181E-09	
4.774E-09	4.384E-09	4.254E-09	4.244E-09	4.121E-09	3.879E-09	3.579E-09	3.276E-09	
3.043E-09	2.878E-09	2.725E-09	2.675E-09	3.510E-09	8.828E-09	2.639E-08	5.547E-08	
7.121E-08	5.424E-08	2.434E-08	6.415E-09	9.904E-10	8.939E-11	4.726E-12	1.477E-13	
3.603E-15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

0.90 MEV

6.591E-09	6.730E-09	6.886E-09	7.032E-09	7.132E-09	7.370E-09	7.565E-09	7.269E-09
7.010E-09	7.107E-09	7.175E-09	7.147E-09	7.175E-09	6.998E-09	6.769E-09	6.766E-09
6.675E-09	6.418E-09	6.260E-09	6.154E-09	5.988E-09	5.767E-09	5.456E-09	5.188E-09
5.110E-09	5.092E-09	4.923E-09	4.642E-09	4.453E-09	4.365E-09	4.218E-09	3.932E-09
3.620E-09	3.461E-09	3.482E-09	3.525E-09	3.451E-09	3.277E-09	3.029E-09	2.762E-09
2.690E-09	3.595E-09	8.756E-09	2.443E-08	4.889E-08	6.164E-08	4.759E-08	2.233E-08
6.349E-09	1.091E-09	1.132E-10	7.088E-12	2.719E-13	6.395E-15	0.0	0.0

1.00 MEV

1.223E-08	7.552E-09	7.005E-09	7.264E-09	7.291E-09	7.102E-09	7.136E-09	7.369E-09
7.409E-09	7.255E-09	7.138E-09	7.054E-09	7.033E-09	7.071E-09	7.073E-09	7.042E-09
6.973E-09	6.891E-09	6.775E-09	6.552E-09	6.274E-09	6.087E-09	6.017E-09	5.898E-09
5.689E-09	5.550E-09	5.541E-09	5.496E-09	5.239E-09	4.866E-09	4.583E-09	4.413E-09
4.334E-09	4.321E-09	4.289E-09	4.182E-09	4.017E-09	3.819E-09	3.589E-09	3.361E-09
3.170E-09	2.996E-09	2.836E-09	2.719E-09	2.649E-09	2.701E-09	3.637E-09	8.474E-09
2.215E-08	4.244E-08	5.271E-08	4.123E-08	2.015E-08	6.134E-09	1.160E-09	1.362E-10
9.919E-12	4.525E-13	1.405E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1.10 MEV

5.649E-08	5.650E-08	4.816E-08	3.007E-08	1.448E-08	8.201E-09	6.994E-09	6.847E-09
6.972E-09	7.082E-09	7.039E-09	7.072E-09	7.196E-09	7.212E-09	7.082E-09	6.859E-09
6.655E-09	6.586E-09	6.622E-09	6.744E-09	6.855E-09	6.840E-09	6.686E-09	6.434E-09
6.216E-09	6.043E-09	5.837E-09	5.637E-09	5.470E-09	5.274E-09	5.056E-09	4.843E-09
4.679E-09	4.636E-09	4.663E-09	4.601E-09	4.422E-09	4.238E-09	4.121E-09	4.049E-09
3.994E-09	3.969E-09	3.936E-09	3.806E-09	3.604E-09	3.427E-09	3.288E-09	3.117E-09
2.897E-09	2.702E-09	2.705E-09	3.668E-09	8.190E-09	2.002E-08	3.673E-08	4.491E-08
3.550E-08	1.798E-08	5.816E-09	1.199E-09	1.571E-10	1.310E-11	7.005E-13	2.448E-14

1.20 MEV

4.635E-08	4.839E-08	5.063E-08	5.252E-08	5.403E-08	5.290E-08	4.272E-08	2.443E-08
1.149E-08	7.584E-09	7.105E-09	7.147E-09	7.260E-09	7.375E-09	7.432E-09	7.273E-09
6.960E-09	6.822E-09	6.838E-09	6.848E-09	6.866E-09	6.919E-09	7.011E-09	7.029E-09
6.882E-09	6.657E-09	6.414E-09	6.171E-09	5.900E-09	5.639E-09	5.541E-09	5.553E-09
5.449E-09	5.191E-09	4.981E-09	4.948E-09	5.005E-09	4.986E-09	4.813E-09	4.585E-09
4.461E-09	4.463E-09	4.463E-09	4.364E-09	4.183E-09	3.941E-09	3.651E-09	3.387E-09
3.237E-09	3.161E-09	3.002E-09	2.721E-09	2.476E-09	2.392E-09	2.410E-09	2.532E-09
3.445E-09	7.407E-09	1.730E-08	3.077E-08	3.721E-08	2.973E-08	1.556E-08	5.318E-09
1.184E-09	1.715E-10	1.616E-11	9.956E-13	4.052E-14	1.039E-15	0.0	0.0

1.30 MEV

3.783E-08	3.965E-08	4.116E-08	4.257E-08	4.432E-08	4.633E-08	4.811E-08	5.005E-08
5.124E-08	4.818E-08	3.671E-08	2.065E-08	1.047E-08	7.597E-09	7.454E-09	7.575E-09
7.429E-09	7.266E-09	7.199E-09	7.189E-09	7.202E-09	7.100E-09	6.977E-09	7.031E-09
7.173E-09	7.159E-09	6.960E-09	6.744E-09	6.512E-09	6.231E-09	6.008E-09	5.894E-09
5.869E-09	5.897E-09	5.848E-09	5.660E-09	5.454E-09	5.291E-09	5.151E-09	5.059E-09
5.017E-09	4.966E-09	4.839E-09	4.640E-09	4.428E-09	4.242E-09	4.095E-09	3.965E-09
3.805E-09	3.603E-09	3.367E-09	3.140E-09	3.009E-09	2.968E-09	2.897E-09	2.729E-09
2.507E-09	2.298E-09	2.143E-09	2.044E-09	2.098E-09	2.957E-09	6.478E-09	1.474E-08
2.553E-08	3.057E-08	2.467E-08	1.330E-08	4.779E-09	1.141E-09	1.810E-10	1.905E-11
1.336E-12	6.380E-14	1.747E-15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1.40 MEV

3.335E-08	3.421E-08	3.461E-08	3.581E-08	3.790E-08	3.964E-08	4.083E-08	4.236E-08
4.413E-08	4.567E-08	4.746E-08	4.924E-08	4.932E-08	4.401E-08	3.141E-08	1.756E-08
9.850E-09	7.715E-09	7.348E-09	7.213E-09	7.233E-09	7.320E-09	7.264E-09	7.012E-09
6.716E-09	6.698E-09	6.982E-09	7.227E-09	7.240E-09	7.101E-09	6.939E-09	6.766E-09
6.580E-09	6.353E-09	6.069E-09	5.855E-09	5.770E-09	5.699E-09	5.631E-09	5.653E-09
5.729E-09	5.684E-09	5.420E-09	5.053E-09	4.761E-09	4.524E-09	4.263E-09	4.028E-09
3.871E-09	3.753E-09	3.607E-09	3.427E-09	3.275E-09	3.202E-09	3.166E-09	3.066E-09
2.878E-09	2.686E-09	2.555E-09	2.465E-09	2.366E-09	2.227E-09	2.066E-09	1.932E-09
1.867E-09	1.989E-09	2.837E-09	5.856E-09	1.253E-08	2.095E-08	2.480E-08	2.017E-08
1.117E-08	4.200E-09	1.069E-09	1.841E-10	2.143E-11	1.691E-12	9.121E-14	3.618E-15

1.50 MEV

2.750E-08	2.839E-08	2.921E-08	2.958E-08	3.007E-08	3.130E-08	3.284E-08	3.433E-08
3.593E-08	3.736E-08	3.899E-08	4.080E-08	4.215E-08	4.339E-08	4.485E-08	4.596E-08
4.513E-08	3.882E-08	2.648E-08	1.488E-08	9.067E-09	7.503E-09	7.287E-09	7.249E-09
7.222E-09	7.217E-09	7.222E-09	7.189E-09	7.147E-09	7.156E-09	7.170E-09	7.148E-09
7.076E-09	6.879E-09	6.582E-09	6.334E-09	6.180E-09	6.046E-09	5.938E-09	5.931E-09
6.010E-09	6.018E-09	5.822E-09	5.509E-09	5.199E-09	4.879E-09	4.541E-09	4.252E-09
4.079E-09	4.016E-09	3.964E-09	3.860E-09	3.730E-09	3.617E-09	3.504E-09	3.337E-09
3.124E-09	2.918E-09	2.724E-09	2.527E-09	2.340E-09	2.192E-09	2.098E-09	2.039E-09
1.967E-09	1.860E-09	1.731E-09	1.609E-09	1.513E-09	1.453E-09	1.542E-09	2.288E-09
4.892E-09	1.041E-08	1.717E-08	2.020E-08	1.658E-08	9.414E-09	3.688E-09	9.951E-10
1.847E-10	2.357E-11	2.073E-12	1.271E-13	5.417E-15	0.0	0.0	0.0

1.60 MEV
2.512E-08 2.531E-08 2.568E-08 2.658E-08 2.781E-08 2.850E-08 2.857E-08 2.922E-08
3.073E-08 3.211E-08 3.326E-08 3.469E-08 3.606E-08 3.730E-08 3.877E-08 4.010E-08
4.108E-08 4.227E-08 4.367E-08 4.468E-08 4.313E-08 3.530E-08 2.260E-08 1.257E-08
8.472E-09 7.559E-09 7.368E-09 7.249E-09 7.152E-09 7.141E-09 7.246E-09 7.334E-09
7.316E-09 7.213E-09 7.063E-09 6.834E-09 6.521E-09 6.276E-09 6.249E-09 6.383E-09
6.436E-09 6.294E-09 6.094E-09 5.926E-09 5.700E-09 5.404E-09 5.100E-09 4.741E-09
4.344E-09 4.065E-09 3.953E-09 3.919E-09 3.880E-09 3.769E-09 3.549E-09 3.287E-09
3.076E-09 2.916E-09 2.744E-09 2.554E-09 2.382E-09 2.239E-09 2.103E-09 1.980E-09
1.883E-09 1.807E-09 1.736E-09 1.663E-09 1.602E-09 1.556E-09 1.498E-09 1.407E-09
1.292E-09 1.183E-09 1.124E-09 1.235E-09 1.947E-09 4.223E-09 8.819E-09 1.428E-08
1.671E-08 1.382E-08 8.035E-09 3.271E-09 9.312E-10 1.852E-10 2.572E-11 2.497E-12
1.711E-13 8.150E-15 5.488E-16 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

1.70 MEV
2.133E-08 2.175E-08 2.195E-08 2.197E-08 2.257E-08 2.385E-08 2.481E-08 2.529E-08
2.563E-08 2.623E-08 2.738E-08 2.876E-08 3.006E-08 3.117E-08 3.248E-08 3.376E-08
3.490E-08 3.627E-08 3.741E-08 3.820E-08 3.941E-08 4.079E-08 4.179E-08 4.217E-08
3.969E-08 3.132E-08 1.963E-08 1.132E-08 8.086E-09 7.223E-09 7.017E-09 7.073E-09
7.164E-09 7.177E-09 7.161E-09 7.169E-09 7.174E-09 7.095E-09 6.878E-09 6.551E-09
6.220E-09 6.026E-09 5.989E-09 5.959E-09 5.816E-09 5.581E-09 5.306E-09 4.981E-09
4.626E-09 4.317E-09 4.088E-09 3.905E-09 3.731E-09 3.571E-09 3.458E-09 3.390E-09
3.293E-09 3.123E-09 2.738E-09 2.792E-09 2.641E-09 2.425E-09 2.187E-09 2.017E-09
1.923E-09 1.850E-09 1.778E-09 1.721E-09 1.671E-09 1.604E-09 1.520E-09 1.436E-09
1.367E-09 1.318E-09 1.270E-09 1.198E-09 1.101E-09 1.001E-09 9.208E-10 8.858E-10
1.007E-09 1.678E-09 3.712E-09 7.659E-09 1.222E-08 1.422E-08 1.185E-08 7.032E-09
2.964E-09 8.865E-10 1.879E-10 2.820E-11 3.001E-12 2.279E-13 1.280E-14 4.413E-16

1.80 MEV
2.022E-08 2.017E-08 2.055E-08 2.116E-08 2.127E-08 2.117E-08 2.149E-08 2.242E-08
2.344E-08 2.413E-08 2.477E-08 2.537E-08 2.595E-08 2.673E-08 2.783E-08 2.907E-08
3.021E-08 3.135E-08 3.228E-08 3.321E-08 3.458E-08 3.600E-08 3.700E-08 3.773E-08
3.864E-08 3.972E-08 4.057E-08 4.019E-08 3.616E-08 2.719E-08 1.690E-08 1.025E-08
7.758E-09 7.204E-09 7.133E-09 7.103E-09 7.065E-09 7.009E-09 6.843E-09 6.551E-09
6.213E-09 5.927E-09 5.759E-09 5.678E-09 5.600E-09 5.462E-09 5.244E-09 5.006E-09
4.835E-09 4.725E-09 4.564E-09 4.266E-09 3.873E-09 3.514E-09 3.304E-09 3.249E-09
3.247E-09 3.202E-09 3.087E-09 2.925E-09 2.747E-09 2.573E-09 2.408E-09 2.252E-09
2.111E-09 1.976E-09 1.846E-09 1.750E-09 1.696E-09 1.653E-09 1.605E-09 1.553E-09
1.476E-09 1.376E-09 1.292E-09 1.242E-09 1.199E-09 1.146E-09 1.093E-09 1.045E-09
9.935E-10 9.316E-10 8.652E-10 8.126E-10 8.022E-10 9.314E-10 1.548E-09 3.320E-09
6.684E-09 1.051E-08 1.219E-08 1.025E-08 6.208E-09 2.706E-09 8.475E-10 1.906E-10
3.074E-11 3.561E-12 2.980E-13 1.824E-14 7.755E-16 0.0 0.0 0.0

1.90 MEV
1.770E-08 1.798E-08 1.816E-08 1.810E-08 1.815E-08 1.821E-08 1.861E-08 1.942E-08
1.996E-08 2.047E-08 2.115E-08 2.153E-08 2.167E-08 2.198E-08 2.261E-08 2.356E-08
2.461E-08 2.547E-08 2.638E-08 2.768E-08 2.881E-08 2.941E-08 2.996E-08 3.094E-08
3.214E-08 3.317E-08 3.416E-08 3.536E-08 3.658E-08 3.757E-08 3.818E-08 3.713E-08
3.204E-08 2.296E-08 1.411E-08 8.986E-09 7.160E-09 6.799E-09 6.778E-09 6.657E-09
6.353E-09 5.959E-09 5.613E-09 5.387E-09 5.279E-09 5.217E-09 5.091E-09 4.898E-09
4.748E-09 4.673E-09 4.582E-09 4.398E-09 4.163E-09 3.943E-09 3.733E-09 3.507E-09
3.298E-09 3.145E-09 3.031E-09 2.906E-09 2.756E-09 2.619E-09 2.525E-09 2.454E-09
2.367E-09 2.256E-09 2.138E-09 2.032E-09 1.940E-09 1.837E-09 1.703E-09 1.559E-09
1.458E-09 1.433E-09 1.453E-09 1.451E-09 1.391E-09 1.285E-09 1.169E-09 1.070E-09
9.997E-10 9.506E-10 9.106E-10 8.764E-10 8.523E-10 8.368E-10 8.176E-10 7.891E-10
7.641E-10 7.729E-10 9.084E-10 1.467E-09 2.997E-09 5.786E-09 8.880E-09 1.021E-08
8.621E-09 5.317E-09 2.388E-09 7.802E-10 1.852E-10 3.195E-11 4.003E-12 3.661E-13
2.478E-14 1.321E-15 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

2.00 MEV
1.700E-08 1.695E-08 1.693E-08 1.714E-08 1.759E-08 1.802E-08 1.834E-08 1.825E-08
1.807E-08 1.850E-08 1.926E-08 1.991E-08 2.044E-08 2.086E-08 2.096E-08 2.106E-08
2.154E-08 2.225E-08 2.309E-08 2.387E-08 2.445E-08 2.523E-08 2.623E-08 2.700E-08
2.765E-08 2.859E-08 2.975E-08 3.063E-08 3.123E-08 3.199E-08 3.318E-08 3.451E-08
3.552E-08 3.616E-08 3.631E-08 3.450E-08 2.865E-08 1.968E-08 1.189E-08 7.773E-09
6.319E-09 5.830E-09 5.509E-09 5.218E-09 5.011E-09 4.887E-09 4.813E-09 4.786E-09
4.749E-09 4.607E-09 4.379E-09 4.205E-09 4.146E-09 4.115E-09 3.998E-09 3.766E-09
3.494E-09 3.287E-09 3.181E-09 3.123E-09 3.014E-09 2.825E-09 2.655E-09 2.596E-09
2.599E-09 2.561E-09 2.436E-09 2.255E-09 2.085E-09 1.956E-09 1.832E-09 1.689E-09
1.568E-09 1.523E-09 1.542E-09 1.550E-09 1.487E-09 1.361E-09 1.222E-09 1.106E-09
1.024E-09 9.750E-10 9.597E-10 9.715E-10 9.889E-10 9.882E-10 9.588E-10 9.036E-10
8.323E-10 7.555E-10 6.802E-10 6.116E-10 5.555E-10 5.208E-10 5.314E-10 6.780E-10
1.227E-09 2.632E-09 5.081E-09 7.723E-09 8.838E-09 7.504E-09 4.703E-09 2.171E-09
7.374E-10 1.841E-10 3.377E-11 4.552E-12 4.526E-13 3.338E-14 2.030E-15 0.0

2.20 MEV

1.536E-08	1.555E-08	1.584E-08	1.590E-08	1.578E-08	1.575E-08	1.577E-08	1.550E-08
1.534E-08	1.556E-08	1.587E-08	1.617E-08	1.659E-08	1.700E-08	1.734E-08	1.744E-08
1.740E-08	1.735E-08	1.725E-08	1.740E-08	1.792E-08	1.845E-08	1.886E-08	1.951E-08
2.036E-08	2.087E-08	2.118E-08	2.174E-08	2.241E-08	2.298E-08	2.351E-08	2.421E-08
2.514E-08	2.603E-08	2.667E-08	2.718E-08	2.779E-08	2.857E-08	2.936E-08	3.002E-08
3.056E-08	3.086E-08	3.008E-08	2.663E-08	2.006E-08	1.273E-08	7.623E-09	5.287E-09
4.457E-09	4.132E-09	4.000E-09	3.975E-09	3.997E-09	4.028E-09	4.009E-09	3.885E-09
3.679E-09	3.468E-09	3.317E-09	3.238E-09	3.197E-09	3.163E-09	3.112E-09	3.026E-09
2.890E-09	2.720E-09	2.545E-09	2.382E-09	2.251E-09	2.161E-09	2.070E-09	1.949E-09
1.820E-09	1.716E-09	1.652E-09	1.621E-09	1.604E-09	1.584E-09	1.552E-09	1.494E-09
1.395E-09	1.265E-09	1.138E-09	1.044E-09	9.903E-10	9.620E-10	9.422E-10	9.233E-10
9.052E-10	8.868E-10	8.646E-10	8.383E-10	8.100E-10	7.776E-10	7.375E-10	6.944E-10
6.562E-10	6.197E-10	5.743E-10	5.165E-10	4.546E-10	4.009E-10	3.648E-10	3.515E-10
3.761E-10	5.130E-10	9.695E-10	2.057E-09	3.853E-09	5.721E-09	6.501E-09	5.586E-09
3.612E-09	1.755E-09	6.403E-10	1.752E-10	3.594E-11	5.528E-12	6.390E-13	5.594E-14
3.773E-15	2.218E-16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2.40 MEV

1.499E-08	1.509E-08	1.526E-08	1.517E-08	1.504E-08	1.480E-08	1.442E-08	1.413E-08
1.419E-08	1.455E-08	1.472E-08	1.451E-08	1.430E-08	1.442E-08	1.463E-08	1.466E-08
1.464E-08	1.467E-08	1.465E-08	1.450E-08	1.452E-08	1.486E-08	1.522E-08	1.539E-08
1.546E-08	1.568E-08	1.616E-08	1.675E-08	1.710E-08	1.715E-08	1.730E-08	1.784E-08
1.844E-08	1.875E-08	1.885E-08	1.907E-08	1.954E-08	2.012E-08	2.076E-08	2.142E-08
2.187E-08	2.206E-08	2.235E-08	2.300E-08	2.388E-08	2.468E-08	2.522E-08	2.562E-08
2.606E-08	2.622E-08	2.475E-08	2.039E-08	1.399E-08	8.261E-09	4.920E-09	3.596E-09
3.259E-09	3.252E-09	3.280E-09	3.234E-09	3.113E-09	2.971E-09	2.858E-09	2.784E-09
2.745E-09	2.749E-09	2.775E-09	2.760E-09	2.650E-09	2.474E-09	2.322E-09	2.245E-09
2.200E-09	2.129E-09	2.025E-09	1.909E-09	1.792E-09	1.686E-09	1.601E-09	1.547E-09
1.515E-09	1.484E-09	1.443E-09	1.389E-09	1.322E-09	1.238E-09	1.142E-09	1.050E-09
9.845E-10	9.508E-10	9.393E-10	9.363E-10	9.337E-10	9.237E-10	8.933E-10	8.346E-10
7.564E-10	6.796E-10	6.185E-10	5.701E-10	5.273E-10	4.942E-10	4.806E-10	4.855E-10
4.937E-10	4.897E-10	4.706E-10	4.439E-10	4.171E-10	3.922E-10	3.685E-10	3.456E-10
3.238E-10	3.086E-10	3.243E-10	4.401E-10	8.045E-10	1.606E-09	2.848E-09	4.087E-09
4.582E-09	3.961E-09	2.626E-09	1.333E-09	5.170E-10	1.532E-10	3.465E-11	5.982E-12
7.893E-13	8.005E-14	6.254E-15	4.808E-16	0.0	0.0	0.0	0.0

2.60 MEV

1.528E-08	1.525E-08	1.483E-08	1.449E-08	1.451E-08	1.454E-08	1.444E-08	1.437E-08
1.418E-08	1.379E-08	1.337E-08	1.317E-08	1.320E-08	1.332E-08	1.332E-08	1.310E-08
1.292E-08	1.295E-08	1.289E-08	1.265E-08	1.241E-08	1.236E-08	1.261E-08	1.299E-08
1.326E-08	1.327E-08	1.312E-08	1.311E-08	1.328E-08	1.338E-08	1.334E-08	1.332E-08
1.333E-08	1.352E-08	1.402E-08	1.461E-08	1.495E-08	1.505E-08	1.509E-08	1.518E-08
1.538E-08	1.569E-08	1.609E-08	1.653E-08	1.698E-08	1.735E-08	1.762E-08	1.789E-08
1.835E-08	1.895E-08	1.959E-08	2.020E-08	2.073E-08	2.118E-08	2.164E-08	2.213E-08
2.243E-08	2.181E-08	1.921E-08	1.447E-08	9.136E-09	5.233E-09	3.351E-09	2.768E-09
2.667E-09	2.656E-09	2.623E-09	2.550E-09	2.449E-09	2.363E-09	2.331E-09	2.335E-09
2.321E-09	2.256E-09	2.152E-09	2.053E-09	1.993E-09	1.974E-09	1.963E-09	1.916E-09
1.814E-09	1.682E-09	1.564E-09	1.493E-09	1.461E-09	1.427E-09	1.358E-09	1.257E-09
1.153E-09	1.065E-09	9.941E-10	9.357E-10	8.920E-10	8.701E-10	8.699E-10	8.793E-10
8.818E-10	8.654E-10	8.253E-10	7.639E-10	6.948E-10	6.400E-10	6.140E-10	6.083E-10
5.987E-10	5.711E-10	5.313E-10	4.909E-10	4.530E-10	4.143E-10	3.739E-10	3.389E-10
3.196E-10	3.186E-10	3.277E-10	3.344E-10	3.309E-10	3.176E-10	2.988E-10	2.770E-10
2.531E-10	2.299E-10	2.109E-10	2.010E-10	2.162E-10	3.059E-10	5.747E-10	1.145E-09
2.002E-09	2.842E-09	3.182E-09	2.783E-09	1.893E-09	1.001E-09	4.105E-10	1.306E-10
3.223E-11	6.163E-12	9.147E-13	1.059E-13	9.623E-15	6.953E-16	0.0	0.0

2.80 MEV
 1.600E-08 1.539E-08 1.501E-08 1.489E-08 1.457E-08 1.422E-08 1.401E-08 1.372E-08
 1.343E-08 1.322E-08 1.300E-08 1.284E-08 1.270E-08 1.265E-08 1.251E-08 1.219E-08
 1.201E-08 1.192E-08 1.170E-08 1.154E-08 1.159E-08 1.170E-08 1.168E-08 1.146E-08
 1.116E-08 1.092E-08 1.086E-08 1.109E-08 1.133E-08 1.131E-08 1.115E-08 1.098E-08
 1.076E-08 1.053E-08 1.048E-08 1.071E-08 1.115E-08 1.152E-08 1.166E-08 1.174E-08
 1.190E-08 1.208E-08 1.214E-08 1.219E-08 1.233E-08 1.251E-08 1.266E-08 1.285E-08
 1.319E-08 1.359E-08 1.391E-08 1.410E-08 1.423E-08 1.445E-08 1.489E-08 1.547E-08
 1.604E-08 1.661E-08 1.718E-08 1.770E-08 1.808E-08 1.837E-08 1.866E-08 1.900E-08
 1.904E-08 1.786E-08 1.471E-08 1.022E-08 6.129E-09 3.620E-09 2.554E-09 2.222E-09
 2.115E-09 2.040E-09 1.970E-09 1.928E-09 1.918E-09 1.910E-09 1.874E-09 1.825E-09
 1.794E-09 1.789E-09 1.792E-09 1.778E-09 1.730E-09 1.650E-09 1.556E-09 1.468E-09
 1.389E-09 1.317E-09 1.253E-09 1.200E-09 1.147E-09 1.078E-09 9.967E-10 9.207E-10
 8.612E-10 8.193E-10 7.949E-10 7.898E-10 7.997E-10 8.088E-10 7.960E-10 7.514E-10
 6.861E-10 6.194E-10 5.630E-10 5.213E-10 4.974E-10 4.870E-10 4.752E-10 4.487E-10
 4.103E-10 3.770E-10 3.614E-10 3.587E-10 3.542E-10 3.377E-10 3.083E-10 2.724E-10
 2.396E-10 2.182E-10 2.103E-10 2.112E-10 2.138E-10 2.136E-10 2.119E-10 2.118E-10
 2.124E-10 2.083E-10 1.967E-10 1.819E-10 1.709E-10 1.687E-10 1.858E-10 2.600E-10
 4.692E-10 8.932E-10 1.505E-09 2.083E-09 2.306E-09 2.023E-09 1.401E-09 7.650E-10
 3.289E-10 1.113E-10 2.962E-11 6.198E-12 1.020E-12 1.327E-13 1.369E-14 1.105E-15
 8.486E-17 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

3.00 MEV
 1.554E-08 1.558E-08 1.531E-08 1.490E-08 1.457E-08 1.432E-08 1.411E-08 1.379E-08
 1.316E-08 1.258E-08 1.256E-08 1.279E-08 1.281E-08 1.258E-08 1.233E-08 1.220E-08
 1.215E-08 1.194E-08 1.158E-08 1.140E-08 1.126E-08 1.099E-08 1.082E-08 1.079E-08
 1.074E-08 1.064E-08 1.048E-08 1.025E-08 9.946E-09 9.717E-09 9.617E-09 9.626E-09
 9.700E-09 9.753E-09 9.752E-09 9.672E-09 9.492E-09 9.255E-09 9.091E-09 9.090E-09
 9.284E-09 9.682E-09 1.009E-08 1.027E-08 1.025E-08 1.024E-08 1.039E-08 1.060E-08
 1.073E-08 1.076E-08 1.073E-08 1.076E-08 1.091E-08 1.091E-08 1.117E-08 1.190E-08
 1.224E-08 1.250E-08 1.265E-08 1.278E-08 1.309E-08 1.363E-08 1.423E-08 1.476E-08
 1.520E-08 1.555E-08 1.580E-08 1.602E-08 1.628E-08 1.661E-08 1.698E-08 1.718E-08
 1.663E-08 1.462E-08 1.116E-08 7.295E-09 4.347E-09 2.761E-09 2.109E-09 1.839E-09
 1.694E-09 1.620E-09 1.598E-09 1.591E-09 1.561E-09 1.510E-09 1.476E-09 1.487E-09
 1.524E-09 1.546E-09 1.518E-09 1.444E-09 1.348E-09 1.243E-09 1.130E-09 1.027E-09
 9.500E-10 9.095E-10 8.876E-10 8.659E-10 8.517E-10 8.050E-10 7.721E-10 7.463E-10
 7.364E-10 7.403E-10 7.403E-10 7.199E-10 6.794E-10 6.305E-10 5.845E-10 5.486E-10
 5.265E-10 5.134E-10 4.985E-10 4.732E-10 4.390E-10 4.039E-10 3.743E-10 3.497E-10
 3.274E-10 3.061E-10 2.853E-10 2.656E-10 2.494E-10 2.383E-10 2.308E-10 2.242E-10
 2.177E-10 2.110E-10 2.027E-10 1.923E-10 1.817E-10 1.729E-10 1.646E-10 1.548E-10
 1.452E-10 1.408E-10 1.437E-10 1.482E-10 1.483E-10 1.396E-10 1.245E-10 1.117E-10
 1.194E-10 1.813E-10 3.493E-10 6.671E-10 1.103E-09 1.503E-09 1.656E-09 1.464E-09
 1.035E-09 5.839E-10 2.626E-10 9.409E-11 2.685E-11 6.101E-12 1.104E-12 1.595E-13
 1.850E-14 1.773E-15 1.266E-16 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

4.00 MEV
 1.579E-08 1.556E-08 1.546E-08 1.531E-08 1.491E-08 1.424E-08 1.372E-08 1.351E-08
 1.336E-08 1.335E-08 1.335E-08 1.297E-08 1.235E-08 1.186E-08 1.170E-08 1.181E-08
 1.178E-08 1.138E-08 1.088E-08 1.052E-08 1.027E-08 1.010E-08 9.938E-09 9.585E-09
 9.106E-09 8.741E-09 8.498E-09 8.274E-09 8.002E-09 7.702E-09 7.419E-09 7.214E-09
 7.172E-09 7.236E-09 7.226E-09 7.051E-09 6.755E-09 6.430E-09 6.174E-09 5.986E-09
 5.813E-09 5.676E-09 5.612E-09 5.608E-09 5.637E-09 5.639E-09 5.568E-09 5.456E-09
 5.336E-09 5.190E-09 5.033E-09 4.941E-09 4.955E-09 5.003E-09 4.993E-09 4.918E-09
 4.835E-09 4.775E-09 4.726E-09 4.679E-09 4.617E-09 4.540E-09 4.497E-09 4.526E-09
 4.569E-09 4.551E-09 4.487E-09 4.468E-09 4.527E-09 4.586E-09 4.589E-09 4.569E-09
 4.582E-09 4.646E-09 4.735E-09 4.794E-09 4.800E-09 4.806E-09 4.896E-09 5.083E-09
 5.285E-09 5.400E-09 5.412E-09 5.399E-09 5.440E-09 5.529E-09 5.606E-09 5.654E-09
 5.720E-09 5.847E-09 6.022E-09 6.209E-09 6.394E-09 6.588E-09 6.803E-09 7.017E-09
 7.194E-09 7.317E-09 7.414E-09 7.526E-09 7.674E-09 7.831E-09 7.961E-09 8.063E-09
 8.174E-09 8.327E-09 8.540E-09 8.802E-09 9.004E-09 8.901E-09 8.201E-09 6.795E-09
 4.938E-09 3.140E-09 1.831E-09 1.111E-09 8.196E-10 7.390E-10 7.169E-10 6.853E-10
 6.344E-10 5.808E-10 5.378E-10 5.034E-10 4.716E-10 4.441E-10 4.263E-10 4.183E-10
 4.136E-10 4.060E-10 3.934E-10 3.767E-10 3.586E-10 3.418E-10 3.278E-10 3.165E-10
 3.074E-10 2.998E-10 2.925E-10 2.836E-10 2.728E-10 2.627E-10 2.572E-10 2.584E-10
 2.632E-10 2.652E-10 2.579E-10 2.402E-10 2.165E-10 1.929E-10 1.724E-10 1.558E-10
 1.439E-10 1.381E-10 1.376E-10 1.388E-10 1.366E-10 1.282E-10 1.150E-10 1.014E-10
 9.073E-11 8.395E-11 8.094E-11 8.086E-11 8.183E-11 8.166E-11 7.946E-11 7.594E-11
 7.231E-11 6.936E-11 6.728E-11 6.538E-11 6.227E-11 5.725E-11 5.174E-11 4.863E-11
 4.986E-11 5.460E-11 5.985E-11 6.251E-11 6.104E-11 5.574E-11 4.842E-11 4.166E-11
 3.798E-11 3.869E-11 4.315E-11 4.877E-11 5.199E-11 5.007E-11 4.280E-11 3.290E-11
 2.440E-11 2.113E-11 2.709E-11 4.864E-11 9.427E-11 1.680E-10 2.586E-10 3.366E-10
 3.674E-10 3.353E-10 2.556E-10 1.626E-10 8.639E-11 3.830E-11 1.417E-11 4.376E-12
 1.128E-12 2.425E-13 4.363E-14 6.590E-15 8.539E-16 8.056E-17 1.611E-17 0.0

5.00 MEV
1.551E-08 1.516E-08 1.445E-08 1.391E-08 1.374E-08 1.378E-08 1.392E-08 1.389E-08
1.343E-08 1.287E-08 1.248E-08 1.227E-08 1.218E-08 1.199E-08 1.160E-08 1.120E-08
1.088E-08 1.055E-08 1.026E-08 1.011E-08 1.005E-08 9.992E-09 9.863E-09 9.520E-09
9.041E-09 8.671E-09 8.460E-09 8.328E-09 8.207E-09 8.038E-09 7.832E-09 7.627E-09
7.450E-09 7.272E-09 7.082E-09 6.942E-09 6.872E-09 6.787E-09 6.609E-09 6.334E-09
6.032E-09 5.814E-09 5.727E-09 5.703E-09 5.718E-09 5.875E-09 6.321E-09 6.948E-09
7.137E-09 6.480E-09 5.506E-09 4.887E-09 4.663E-09 4.575E-09 4.457E-09 4.276E-09
4.084E-09 3.960E-09 3.934E-09 3.972E-09 3.996E-09 3.935E-09 3.788E-09 3.621E-09
3.497E-09 3.423E-09 3.373E-09 3.322E-09 3.245E-09 3.136E-09 3.017E-09 2.912E-09
2.820E-09 2.743E-09 2.688E-09 2.662E-09 2.663E-09 2.677E-09 2.678E-09 2.649E-09
2.591E-09 2.520E-09 2.458E-09 2.413E-09 2.379E-09 2.354E-09 2.343E-09 2.346E-09
2.345E-09 2.322E-09 2.272E-09 2.208E-09 2.152E-09 2.132E-09 2.159E-09 2.215E-09
2.266E-09 2.292E-09 2.297E-09 2.299E-09 2.307E-09 2.318E-09 2.333E-09 2.354E-09
2.379E-09 2.399E-09 2.416E-09 2.442E-09 2.482E-09 2.530E-09 2.576E-09 2.610E-09
2.633E-09 2.657E-09 2.697E-09 2.758E-09 2.833E-09 2.913E-09 2.995E-09 3.078E-09
3.156E-09 3.228E-09 3.302E-09 3.380E-09 3.454E-09 3.520E-09 3.590E-09 3.672E-09
3.762E-09 3.844E-09 3.907E-09 3.961E-09 4.025E-09 4.112E-09 4.212E-09 4.307E-09
4.394E-09 4.483E-09 4.591E-09 4.720E-09 4.865E-09 5.021E-09 5.186E-09 5.359E-09
5.522E-09 5.624E-09 5.569E-09 5.239E-09 4.561E-09 3.582E-09 2.493E-09 1.536E-09
8.687E-10 4.995E-10 3.355E-10 2.729E-10 2.456E-10 2.257E-10 2.078E-10 1.936E-10
1.839E-10 1.764E-10 1.688E-10 1.609E-10 1.541E-10 1.492E-10 1.453E-10 1.415E-10
1.383E-10 1.370E-10 1.379E-10 1.396E-10 1.400E-10 1.381E-10 1.349E-10 1.318E-10
1.299E-10 1.294E-10 1.296E-10 1.293E-10 1.267E-10 1.209E-10 1.126E-10 1.040E-10
9.707E-11 9.228E-11 8.833E-11 8.337E-11 7.648E-11 6.827E-11 6.043E-11 5.464E-11
5.171E-11 5.129E-11 5.238E-11 5.398E-11 5.531E-11 5.590E-11 5.555E-11 5.429E-11
5.223E-11 4.934E-11 4.555E-11 4.098E-11 3.607E-11 3.151E-11 2.798E-11 2.589E-11
2.524E-11 2.557E-11 2.616E-11 2.626E-11 2.535E-11 2.320E-11 2.009E-11 1.675E-11
1.402E-11 1.237E-11 1.165E-11 1.130E-11 1.087E-11 1.031E-11 9.937E-12 1.021E-11
1.143E-11 1.360E-11 1.627E-11 1.867E-11 1.997E-11 1.969E-11 1.798E-11 1.550E-11
1.315E-11 1.166E-11 1.121E-11 1.141E-11 1.156E-11 1.114E-11 1.003E-11 8.554E-12
7.120E-12 6.086E-12 5.800E-12 6.884E-12 1.053E-11 1.846E-11 3.216E-11 5.132E-11
7.245E-11 8.918E-11 9.513E-11 8.767E-11 6.970E-11 4.776E-11 2.820E-11 1.434E-11
6.279E-12 2.368E-12 7.687E-13 2.148E-13 5.172E-14 1.074E-14 1.930E-15 2.991E-16
4.461E-17 4.449E-18 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

Table 2 Response functions for 80 pulse heights and 80 neutron energies interpolated from the data listed on the Table 1

```

SAMPLE PROBLEM ( 80 X 80 )
*** ARBITRARY DATA ***
*** INPUT NEUTRON ENERGY AND PULSE HEIGHT ***
NR= 80      NC= 80
ENERGY (MEV)
J          1          2          3          4          5          6          7          8          9          10
E 2.000E-02 4.000E-02 6.000E-02 8.000E-02 1.000E-01 1.200E-01 1.400E-01 1.600E-01 1.800E-01 2.000E-01
J 11         12         13         14         15         16         17         18         19         20
E 2.200E-01 2.400E-01 2.600E-01 2.800E-01 3.000E-01 3.200E-01 3.400E-01 3.600E-01 3.800E-01 4.000E-01
J 21         22         23         24         25         26         27         28         29         30
E 4.200E-01 4.400E-01 4.600E-01 4.800E-01 5.000E-01 5.200E-01 5.400E-01 5.600E-01 5.800E-01 6.000E-01
J 31         32         33         34         35         36         37         38         39         40
E 6.200E-01 6.400E-01 6.600E-01 6.800E-01 7.000E-01 7.200E-01 7.400E-01 7.600E-01 7.800E-01 8.000E-01
J 41         42         43         44         45         46         47         48         49         50
E 8.200E-01 8.400E-01 8.600E-01 8.800E-01 9.000E-01 9.200E-01 9.400E-01 9.600E-01 9.800E-01 1.000E 00
J 51         52         53         54         55         56         57         58         59         60
E 1.020E 00 1.040E 00 1.060E 00 1.080E 00 1.100E 00 1.120E 00 1.140E 00 1.160E 00 1.180E 00 1.200E 00
J 61         62         63         64         65         66         67         68         69         70
E 1.220E 00 1.240E 00 1.260E 00 1.280E 00 1.300E 00 1.320E 00 1.340E 00 1.360E 00 1.380E 00 1.400E 00
J 71         72         73         74         75         76         77         78         79         80
E 1.420E 00 1.440E 00 1.460E 00 1.480E 00 1.500E 00 1.520E 00 1.540E 00 1.560E 00 1.580E 00 1.600E 00

PULSE HEIGHT (MEV)
I          1          2          3          4          5          6          7          8          9          10
PH 2.000E-02 4.000E-02 6.000E-02 8.000E-02 1.000E-01 1.200E-01 1.400E-01 1.600E-01 1.800E-01 2.000E-01
I 11         12         13         14         15         16         17         18         19         20
PH 2.200E-01 2.400E-01 2.600E-01 2.800E-01 3.000E-01 3.200E-01 3.400E-01 3.600E-01 3.800E-01 4.000E-01
I 21         22         23         24         25         26         27         28         29         30
PH 4.200E-01 4.400E-01 4.600E-01 4.800E-01 5.000E-01 5.200E-01 5.400E-01 5.600E-01 5.800E-01 6.000E-01
I 31         32         33         34         35         36         37         38         39         40
PH 6.200E-01 6.400E-01 6.600E-01 6.800E-01 7.000E-01 7.200E-01 7.400E-01 7.600E-01 7.800E-01 8.000E-01
I 41         42         43         44         45         46         47         48         49         50
PH 8.200E-01 8.400E-01 8.600E-01 8.800E-01 9.000E-01 9.200E-01 9.400E-01 9.600E-01 9.800E-01 1.000E 00
I 51         52         53         54         55         56         57         58         59         60
PH 1.020E 00 1.040E 00 1.060E 00 1.080E 00 1.100E 00 1.120E 00 1.140E 00 1.160E 00 1.180E 00 1.200E 00
I 61         62         63         64         65         66         67         68         69         70
PH 1.220E 00 1.240E 00 1.260E 00 1.280E 00 1.300E 00 1.320E 00 1.340E 00 1.360E 00 1.380E 00 1.400E 00
I 71         72         73         74         75         76         77         78         79         80
PH 1.420E 00 1.440E 00 1.460E 00 1.480E 00 1.500E 00 1.520E 00 1.540E 00 1.560E 00 1.580E 00 1.600E 00

```

***** CALCULATED RESPONSE MATRIX *****

J= 1 ER= 2.000E-02MEV										
I	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	1.054E-06	6.330E-07	1.382E-07	1.079E-08	2.967E-10	2.896E-12	1.944E-14	0.0	0.0	0.0
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 2 ER= 4.000E-02MEV										
I	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	4.171E-07	6.712E-07	4.078E-07	9.214E-08	7.631E-09	2.283E-10	2.479E-12	1.252E-14	0.0	0.0
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 3 ER= 6.000E-02MEV										
I	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	8.304E-08	3.212E-07	5.121E-07	3.146E-07	7.348E-08	6.437E-09	2.086E-10	2.513E-12	9.665E-15	0.0
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 4 ER= 8.000E-02MEV										
I	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	1.518E-08	7.198E-08	2.680E-07	4.219E-07	2.617E-07	6.304E-08	5.826E-09	2.038E-10	2.708E-12	1.607E-14
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 5 ER= 1.000E-01MEV										
I	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	7.750E-09	1.345E-08	6.382E-08	2.311E-07	3.604E-07	2.258E-07	5.608E-08	5.456E-09	2.053E-10	2.992E-12
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	2.083E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 6 ER= 1.200E-01MEV										
I	1	3	4	5	6	7	8	9	10	
R	7.059E-09	7.209E-09	1.273E-08	5.968E-08	2.110E-07	3.263E-07	2.062E-07	5.260E-08	5.354E-09	2.149E-10
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	3.402E-12	2.554E-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

J= 13 ER= 2.600E-01MEV										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	5.748E-09	5.748E-09	5.748E-09	5.604E-09	5.500E-09	5.158E-09	4.715E-09	4.382E-09	4.686E-09	9.627E-09
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	4.131E-08	1.246E-07	1.819E-07	1.217E-07	3.688E-08	5.026E-09	3.058E-10	8.273E-12	0.0	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 14 ER= 2.800E-01MEV										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	5.487E-09	5.487E-09	5.487E-09	5.487E-09	5.364E-09	5.273E-09	4.999E-09	4.517E-09	4.172E-09	4.471E-09
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	9.437E-09	3.936E-08	1.180E-07	1.710E-07	1.152E-07	3.568E-08	5.046E-09	3.234E-10	9.373E-12	0.0
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 15 ER= 3.000E-01MEV										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	5.386E-09	5.306E-09	5.509E-09	5.508E-09	5.238E-09	5.134E-09	5.055E-09	4.748E-09	4.328E-09	3.972E-09
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	4.265E-09	9.251E-09	3.866E-08	1.118E-07	1.607E-07	1.090E-07	3.452E-08	5.067E-09	3.423E-10	1.062E-11
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	1.569E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 16 ER= 3.200E-01MEV										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	5.665E-09	5.372E-09	5.244E-09	5.360E-09	5.359E-09	5.146E-09	5.010E-09	4.859E-09	4.545E-09	4.167E-09
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	3.890E-09	4.242E-09	9.205E-09	3.776E-08	1.074E-07	1.535E-07	1.048E-07	3.380E-08	5.117E-09	3.612E-10
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	1.186E-11	1.865E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 17 ER= 3.400E-01MEV										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	5.663E-09	5.663E-09	5.357E-09	5.183E-09	5.216E-09	5.214E-09	5.055E-09	4.489E-09	4.671E-09	4.351E-09
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	4.012E-09	3.809E-09	4.219E-09	9.160E-09	3.687E-08	1.032E-07	1.466E-07	1.007E-07	3.309E-08	5.167E-09
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	3.812E-10	1.325E-11	2.224E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
J= 18 ER= 3.600E-01MEV										
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	5.662E-09	5.662E-09	5.662E-09	5.343E-09	5.122E-09	5.075E-09	5.075E-09	4.966E-09	4.771E-09	4.490E-09
I	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R	4.165E-09	3.862E-09	3.730E-09	4.196E-09	9.115E-09	3.601E-08	9.913E-08	1.401E-07	9.678E-08	3.239E-08
I	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R	5.218E-09	4.022E-10	1.479E-11	2.653E-13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0


```

J= 25  ER= 5.000E-01MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      5.993E-09 6.042E-09 5.892E-09 5.828E-09 5.770E-09 5.592E-09 5.492E-09 5.479E-09 5.430E-09 5.287E-09
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      5.032E-09 4.617E-09 4.045E-09 3.687E-09 3.728E-09 3.802E-09 3.728E-09 3.642E-09 3.719E-09 3.887E-09
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      4.424E-09 9.246E-09 3.186E-08 7.836E-08 1.065E-07 7.647E-08 2.872E-08 5.616E-09 5.694E-10 2.984E-11
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      8.172E-13 1.220E-14 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
J= 26  ER= 5.200E-01MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      6.058E-09 5.979E-09 5.984E-09 5.843E-09 5.791E-09 5.752E-09 5.604E-09 5.492E-09 5.448E-09 5.374E-09
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      5.208E-09 4.956E-09 4.587E-09 4.073E-09 3.738E-09 3.780E-09 3.864E-09 3.771E-09 3.620E-09 3.600E-09
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      3.680E-09 4.219E-09 9.135E-09 3.140E-08 7.659E-08 1.037E-07 7.478E-08 2.847E-08 5.695E-09 5.962E-10
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      3.256E-11 9.372E-13 1.490E-14 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
J= 27  ER= 5.400E-01MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      6.049E-09 6.049E-09 5.965E-09 5.926E-09 5.794E-09 5.754E-09 5.734E-09 5.617E-09 5.492E-09 5.417E-09
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      5.319E-09 5.126E-09 4.881E-09 4.557E-09 4.101E-09 3.789E-09 3.833E-09 3.928E-09 3.814E-09 3.599E-09
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      3.484E-09 3.483E-09 4.023E-09 9.025E-09 3.101E-08 7.485E-08 1.009E-07 7.313E-08 2.822E-08 5.775E-09
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      6.242E-10 3.553E-11 1.075E-12 1.820E-14 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
J= 28  ER= 5.600E-01MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      6.041E-09 6.041E-09 6.041E-09 5.951E-09 5.869E-09 5.746E-09 5.718E-09 5.716E-09 5.629E-09 5.492E-09
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      5.387E-09 5.264E-09 5.047E-09 4.807E-09 4.527E-09 4.129E-09 3.841E-09 3.887E-09 3.992E-09 3.857E-09
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      3.577E-09 3.372E-09 3.297E-09 3.836E-09 8.916E-09 3.062E-08 7.316E-08 9.824E-08 7.151E-08 2.798E-08
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      5.836E-09 6.535E-10 3.877E-11 1.233E-12 2.223E-14 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
J= 29  ER= 5.800E-01MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      6.032E-09 6.032E-09 6.032E-09 6.032E-09 5.937E-09 5.813E-09 5.698E-09 5.681E-09 5.699E-09 5.642E-09
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      5.492E-09 5.356E-09 5.210E-09 4.989E-09 4.734E-09 4.497E-09 4.157E-09 3.894E-09 3.941E-09 4.057E-09
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      3.901E-09 3.556E-09 3.264E-09 3.122E-09 3.638E-09 8.809E-09 3.024E-08 7.150E-08 9.563E-08 6.993E-08
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      2.773E-08 5.938E-09 6.842E-10 4.231E-11 1.413E-12 2.715E-14 0.0 0.0 0.0 0.0
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
J= 30  ER= 6.000E-01MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      6.643E-09 6.694E-09 6.520E-09 6.268E-09 6.023E-09 5.923E-09 5.757E-09 5.650E-09 5.645E-09 5.681E-09
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      5.654E-09 5.492E-09 5.326E-09 5.156E-09 4.893E-09 4.662E-09 4.468E-09 4.186E-09 3.947E-09 3.996E-09
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      4.124E-09 3.946E-09 3.535E-09 3.159E-09 3.484E-09 3.484E-09 8.703E-09 2.986E-08 6.988E-08 9.309E-08
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      6.839E-08 2.749E-08 6.021E-09 7.164E-10 4.617E-11 1.621E-12 3.316E-14 9.211E-16 0.0 0.0
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

```

```

J= 31  ER= 6.200E-01MEV
I   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10
R 6,306E-09 6,629E-09 6,880E-09 6,524E-09 6,318E-09 6,102E-09 5,952E-09 5,746E-09 5,627E-09 5,627E-09
I 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
R 5,648E-09 5,586E-09 5,426E-09 5,279E-09 5,121E-09 4,874E-09 4,659E-09 4,463E-09 4,206E-09 3,999E-09
I 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
R 4,016E-09 4,068E-09 3,861E-09 3,488E-09 3,156E-09 2,971E-09 3,527E-09 3,757E-09 2,954E-08 6,830E-08
I 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
R 9,061E-08 6,682E-08 2,177E-08 6,071E-09 7,426E-10 4,961E-11 1,819E-12 3,870E-14 1,075E-15 0,0
I 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
J= 32  ER= 6,400E-01MEV
I   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10
R 6,361E-09 6,361E-09 6,616E-09 6,667E-09 6,528E-09 6,369E-09 6,181E-09 5,980E-09 5,735E-09 5,603E-09
I 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
R 5,610E-09 5,610E-09 5,520E-09 5,361E-09 5,232E-09 5,086E-09 4,854E-09 4,644E-09 4,458E-09 4,227E-09
I 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
R 4,051E-09 4,036E-09 4,012E-09 3,778E-09 3,442E-09 3,152E-09 2,986E-09 3,566E-09 8,180E-09 2,923E-08
I 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
R 6,678E-08 8,820E-08 6,529E-08 2,688E-08 6,121E-09 7,699E-10 5,331E-11 2,042E-12 4,517E-14 1,255E-15
I 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
J= 33  ER= 6,600E-01MEV
I   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10
R 6,417E-09 6,417E-09 6,417E-09 6,602E-09 6,653E-09 6,533E-09 6,420E-09 6,262E-09 6,009E-09 5,723E-09
I 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
R 5,580E-09 5,593E-09 5,581E-09 5,454E-09 5,296E-09 5,186E-09 5,051E-09 4,835E-09 4,634E-09 4,452E-09
I 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
R 4,247E-09 4,104E-09 4,056E-09 3,957E-09 3,697E-09 3,396E-09 3,149E-09 3,002E-09 3,605E-09 8,865E-09
I 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
R 2,892E-08 6,526E-08 8,586E-08 6,379E-08 2,656E-08 6,171E-09 7,981E-10 5,728E-11 2,292E-12 5,272E-14
I 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
R 1,465E-15 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
J= 34  ER= 6,800E-01MEV
I   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10
R 6,473E-09 6,473E-09 6,473E-09 6,473E-09 6,589E-09 6,640E-09 6,537E-09 6,472E-09 6,343E-09 6,038E-09
I 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
R 5,712E-09 5,557E-09 5,575E-09 5,549E-09 5,388E-09 5,233E-09 5,140E-09 5,016E-09 4,816E-09 4,625E-09
I 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
R 4,447E-09 4,268E-09 4,158E-09 4,077E-09 3,903E-09 3,618E-09 3,351E-09 3,145E-09 3,018E-09 3,645E-09
I 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
R 8,919E-09 2,861E-08 6,379E-08 8,357E-08 6,233E-08 6,222E-09 8,273E-10 6,154E-11 2,572E-12 5,050E-15
I 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
R 6,153E-14 1,709E-15 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
J= 35  ER= 7,000E-01MEV
I   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10
R 6,530E-09 6,530E-09 6,530E-09 6,530E-09 6,530E-09 6,575E-09 6,626E-09 6,541E-09 6,524E-09 6,426E-09
I 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
R 6,067E-09 5,701E-09 5,534E-09 5,558E-09 5,516E-09 5,324E-09 5,170E-09 5,094E-09 4,982E-09 4,797E-09
I 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
R 4,616E-09 4,442E-09 4,289E-09 4,212E-09 4,097E-09 3,850E-09 3,540E-09 3,307E-09 3,142E-09 3,034E-09
I 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
R 3,685E-09 8,974E-09 2,831E-08 6,235E-08 8,135E-08 6,090E-08 2,595E-08 6,273E-09 8,576E-10 6,613E-11
I 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
R 2,887E-12 7,182E-14 1,995E-15 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
J= 36  ER= 7,200E-01MEV
I   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10
R 6,615E-09 6,791E-09 6,878E-09 6,829E-09 6,678E-09 6,575E-09 6,631E-09 6,623E-09 6,453E-09 6,382E-09
I 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
R 6,317E-09 6,075E-09 5,790E-09 5,601E-09 5,557E-09 5,509E-09 5,357E-09 5,217E-09 5,111E-09 4,940E-09
I 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
R 4,711E-09 4,541E-09 4,402E-09 4,255E-09 4,143E-09 3,988E-09 3,728E-09 3,434E-09 3,216E-09 3,054E-09
I 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
R 2,959E-09 3,649E-09 8,945E-09 2,792E-08 6,091E-08 7,921E-08 5,951E-08 2,562E-08 6,301E-09 8,827E-10
I 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50
R 7,024E-11 3,186E-12 8,296E-14 2,245E-15 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
I 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
R 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0

```



```

J= 79  ER= 1.580E 00MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      2.775E-08  2.775E-08  2.775E-08  2.833E-08  2.865E-08  2.917E-08  3.033E-08  3.167E-08  3.293E-08  3.432E-08
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      3.575E-08  3.705E-08  3.851E-08  3.995E-08  4.108E-08  4.225E-08  4.362E-08  4.473E-08  4.580E-08  4.737E-08
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      2.544E-08  1.461E-08  9.330E-09  7.745E-09  7.417E-09  7.257E-09  7.171E-09  7.157E-09  7.240E-09  7.311E-09
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      7.290E-09  7.200E-09  7.082E-09  6.900E-09  6.642E-09  6.428E-09  6.370E-09  6.422E-09  6.415E-09  6.271E-09
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      6.084E-09  5.928E-09  5.745E-09  5.520E-09  5.272E-09  4.940E-09  4.555E-09  4.270E-09  4.123E-09  4.036E-09
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      3.952E-09  3.829E-09  3.638E-09  3.412E-09  3.219E-09  3.063E-09  2.900E-09  2.721E-09  2.548E-09  2.393E-09
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      2.245E-09  2.110E-09  1.997E-09  1.903E-09  1.819E-09  1.742E-09  1.681E-09  1.631E-09  1.564E-09  1.467E-09
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      1.350E-09  1.243E-09  1.183E-09  1.291E-09  2.011E-09  4.349E-09  9.116E-09  1.482E-08  1.736E-08  1.433E-08
J= 80  ER= 1.600E 00MEV
I      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
R      2.531E-08  2.568E-08  2.658E-08  2.781E-08  2.850E-08  2.857E-08  2.922E-08  3.073E-08  3.211E-08  3.326E-08
I      11      12      13      14      15      16      17      18      19      20
R      3.469E-08  3.606E-08  3.730E-08  3.877E-08  4.010E-08  4.108E-08  4.277E-08  4.367E-08  4.468E-08  4.513E-08
I      21      22      23      24      25      26      27      28      29      30
R      3.530E-08  2.260E-08  1.257E-08  8.472E-09  7.559E-09  7.368E-09  7.249E-09  7.152E-09  7.141E-09  7.246E-09
I      31      32      33      34      35      36      37      38      39      40
R      7.334E-09  7.316E-09  7.213E-09  7.063E-09  6.834E-09  6.521E-09  6.276E-09  6.249E-09  6.383E-09  6.436E-09
I      41      42      43      44      45      46      47      48      49      50
R      6.294E-09  6.094E-09  5.926E-09  5.700E-09  5.404E-09  5.100E-09  4.741E-09  4.344E-09  4.065E-09  3.953E-09
I      51      52      53      54      55      56      57      58      59      60
R      3.919E-09  3.880E-09  3.769E-09  3.549E-09  3.287E-09  3.076E-09  2.916E-09  2.744E-09  2.554E-09  2.382E-09
I      61      62      63      64      65      66      67      68      69      70
R      2.239E-09  2.103E-09  1.980E-09  1.883E-09  1.807E-09  1.736E-09  1.663E-09  1.602E-09  1.556E-09  1.498E-09
I      71      72      73      74      75      76      77      78      79      80
R      1.407E-09  1.292E-09  1.183E-09  1.124E-09  1.235E-09  1.947E-09  4.223E-09  8.819E-09  1.428E-08  1.671E-08
* END OF FORTRAN *

```