

JAERI-M

5794

放射線輸送・発熱計算コードシステム

R A D H E A T

1974年7月

宮坂 駿一・田次 邑吉・岡田 高光\*・南 多善\*

井上 修二・出田 隆士・関 泰・安藤 弘栄

飯田 浩正・藤村統一郎・朝岡 卓見・弘田 実弥

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

放射線輸送・発熱計算コードシステム

RADHEAT

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

宮坂駿一・田次邑吉・岡田高光\*

南 多善\*・井上修二・出田隆士

関 泰+・安藤弘栄++・飯田浩正++

藤村統一郎・朝岡卓見・弘田実弥

( 1974年7月受理 )

原子炉構造体、遮蔽体中における放射線輸送・発熱の計算を群定数作成から系統的に行なうことのできるコードシステムを開発した。本システムは、(1)中性子、ガンマ線の輸送・発熱群定数の作成、(2)2次ガンマ線生成定数の作成、(3)中性子輸送計算、(4)中性子発熱計算、(5)ガンマ線輸送計算および(6)ガンマ線による発熱計算の6つの部分から構成されている。中性子、ガンマ線の輸送計算はS Nコード(ANISN, DOT-2等)を用いて行なう。

本コードシステムの機能および計算精度評価のため、FCA-V3集合体における実験結果の解析がなされた。

---

\* 富士通K.K. + 日本原子力研究所核融合研究室, ++ 日本原子力研究所大洗研材料試験炉部

Code System for the Radiation-Heating Analysis of a Nuclear Reactor

RADHEAT

Shun-ichi MIYASAKA, Yukichi TAJI, Takamitsu OKADA\*,  
Kazuyoshi MINAMI\*, Shuji INOUE, Takashi IDETA, Yasushi SEKI\*\*,  
Hiroe ANDO\*\*\*, Hiromasa IIDA\*\*\*, Toichiro FUJIMURA,  
Takumi ASAOKA and Jitsuya HIROTA

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI.

(Received July 6, 1974)

A code system has been developed for radiation-heating analysis of a nuclear reactor. It consists of (1) preparation of the group constants for neutron and gamma-ray transport and energy deposition, (2) preparation of the group constants for secondary gamma-ray production, (3) neutron transport calculation, (4) calculation of heat generation due to neutrons, (5) gamma-ray transport calculation, and (6) calculation of heat generation due to gamma rays. The SN codes, ANISN and TWOTRAN, are employed to calculate the neutron and gamma-ray transport and energy depositions.

The energy deposition rates in the core and blanket of the FCA critical assembly V3 were calculated with the code system; the results are compared with those by experiment.

---

\* Fujitsu Limited.

\*\* Thermonuclear Fusion Laboratory, Tokai, JAERI.

\*\*\* Division of JMTR Project, Oarai, JAERI.

## 目 次

1. まえがき	1
2. コードシステムの概要	3
2.1 コードシステムの機能	3
2.2 SUPERTOG-V3-JR	7
2.3 THERMOS-JR	8
2.4 POPOP4-JR	8
2.5 GAMLEG-JR	12
2.6 NEHEAT	17
2.7 群定数処理コード	23
2.8 ANISN-JR	23
2.9 DOT-2とTWOTRAN	25
3. 入力形式	26
3.1 核データ・ファイル作成コード入力形成	26
3.1.1 コントロールカード	26
3.1.2 タイトルカード	26
3.1.3 オプションカード	26
3.1.4 THERMOS-JR	27
3.1.5 SUPERTOG-V3-JR	27
3.1.6 POPOP4-JR	30
3.1.7 GAMLEG-JR	30
3.1.8 NEHEAT	31
3.1.9 TOTAL COUPLE	32
3.1.10 GROUP INDEPENDENT	32
3.2 輸送・発熱計算のための入力形式	32
3.2.1 ANISN-JR 入力形式	32
3.2.2 DOT-2, TWOTRAN 入力形式	34
3.3 制限条件	35
3.3.1 核データファイル作成コード	35
3.3.2 輸送・発熱計算コード	35
3.4 ジョブ制限カード	36
3.4.1 核データファイル作成コード	36
3.4.2 輸送・発熱計算コード	37
4. 入出力例および解析計算	41
4.1 入出力例	41
4.2 FCAのV-3 集合体の実験解析	41

5. むすび .....	6 3
参考文献 .....	6 5
APPENDIX A FIDOフォーマットの説明 .....	6 7
APPENDIX B 核データファイル作成コードのオーバレイ構造 .....	6 9
APPENDIX C ANISN-JR コードのオーバレイ構造 .....	7 1

## C o n t e n t s

1. Introduction .....	1
2. General descriptions of a code-system .....	3
2.1 Functions of a code-system .....	3
2.2 SUPERTOG-V3-JR .....	7
2.3 THERMOS-JR .....	8
2.4 POPOP4-JR .....	8
2.5 GAMLEG-JR .....	12
2.6 NEHEAT .....	17
2.7 Process codes for group constants .....	23
2.8 ANISN-JR .....	23
2.9 DOT-2 and TWOTRAN .....	25
3. INPUT formats .....	26
3.1 INPUT formats for nuclear data file .....	26
3.1.1 Control cards .....	26
3.1.2 Title cards .....	26
3.1.3 Option cards .....	26
3.1.4 THERMOS-JR .....	27
3.1.5 SUPERTOG-JR .....	27
3.1.6 POPOP4-JR .....	30
3.1.7 GAMLEG-JR .....	30
3.1.8 NEHEAT .....	31
3.1.9 TOTAL COUPLE .....	32
3.1.10 GROUP INDEPENDENT .....	32
3.2 IPUT formats for transport-and heat generation codes .....	32
3.2.1 ANISN-JR INPUT formats .....	32
3.2.2 DOT-2 and TWOTRAN INPUT formats .....	34
3.3 Limitations .....	35
3.3.1 Limitations on nuclear data file .....	35
3.3.2 Limitations on transport and radiation heating calculations .....	35
3.4 JOB control cards .....	36
3.4.1 JOB control for nuclear data file .....	36
3.4.2 JOB control for transport and heat generation code .....	37
4. Sample I/O and Analysis .....	41
4.1 Sample problem .....	41
4.2 Analysis of experiments at FCA-V-3 assembly .....	41

5. Conclusions .....	6 3
Appendix A FIDO formats .....	6 7
Appendix B Diagram of Nuclear Data File Code Overlay Structure .....	6 9
Appendix C Diagram of ANISN-JR Overlay Structure .....	7 1

## 1. まえがき

高速炉、高温ガス炉などでは、炉心内外の構造材中の中性子発熱およびガンマ線発熱がかなり大きくなることが予想される。たとえば高速炉のブランケット中の熱出力の20~30%は炉心からのガンマ線およびブランケット内で発生する2次ガンマ線の吸収によるといわれている。<sup>1)</sup>核融合炉においてはブランケット中における放射線発熱がさらに重要な問題となる。

原子炉の出力評価や原子炉構造材あるいは遮蔽構造材の熱設計、構造設計の際には、放射線分布を精度よく評価すると同時に、それによる熱発生分布もまた精度よく評価しなければならない。一般に生体遮蔽設計における線量評価の要求精度は~200%程度であるが、放射線発熱に対する要求精度は20~30%とかなりきひしい値が示されている。<sup>2)</sup>

構造体、遮蔽体中の放射線発熱量を求めるためには、中性子、ガンマ線発熱定数、2次ガンマ線発生定数等の諸定数の整備と群定数化、さらにこれらを用いて、放射線輸送計算から発熱計算へと系統的なしかもかなり繁雑な作業が必要である。

本放射線発熱計算コードシステムは、原子炉炉心内外の中性子、ガンマ線束分布の計算とそれによる発熱分布を評価するためのシステムで、次の機能を有している。

- ① 中性子、ガンマ線輸送計算、発熱計算のための群定数の作成、
- ② 2次ガンマ線生成の群定数の作成、
- ③ 中性子輸送計算、
- ④ 中性子発熱計算、
- ⑤ ガンマ線輸送計算、
- ⑥ ガンマ線発熱計算。

中性子輸送計算、ガンマ線輸送計算はS NコードANISN<sup>3)</sup>(1次元)あるいはDOT-2<sup>4)</sup>, TWOTRAN<sup>5)</sup>(2次元)で行なう。2次ガンマ線源計算に必要な各種定数はPOPOP<sup>6)</sup>を用い、中性子群定数はSUPERTOG V-3<sup>7)</sup>を、中性子発熱定数は新しく開発したNEHEAT<sup>8)</sup>で、ガンマ線群定数および発熱定数はGAMLEG<sup>9)</sup>を改造して用いた。熱中性子の群定数にはTHERMOS-MUG<sup>9)</sup>を利用している。

本コードシステムの作成にあたっては、①使い易いコードシステムとすること、②入力データを簡略化する、③各コード間のデータの受け渡しを合理化する、④連続計算を可能にする。特に一度に多核種のデータファイルを作成する、⑤各コードを単独でも使用できること、などを考慮した。

本コードシステムはFACOM-230/60を対象に、FORTRAN-IVを使用言語にコード化した。

本コードシステムの機能を調べかつ計算精度を評価するため、FCAのV-3-B1集合体とV-3-B4集合体における実験解析に本コードシステムを適用し、中性子、ガンマ線束分布と発熱分布を求めた。ガンマ線束分布については、実験値と絶対値による比較で、20~30%以内で一致した。ガンマ線による発熱は、炉心部で全発熱量の約8%，ブランケット部で30~35%という結果を得た。<sup>26)</sup>また、このシステムは、核融合ブランケットおよび材料試験

炉の発熱計算にも適用された。

なお本コードシステムの作成、計算精度評価のための解析計算等は、「放射線発熱計算コードシステム開発」ワーキンググループが行なった。

## 2. コードシステムの概要

### 2.1 コードシステムの機能

本コードシステムでは、中性子反応による2次ガンマ線発生を、中性子輸送における減速散乱と同様に、中性子束群からガンマ線束群への遷移とみなし、中性子とガンマ線束とを同等に扱っている。

線束を  $f_1, f_2, \dots, f_N, f_{N+1}, \dots, f_{N+G}$  と表わし、最初の  $N$  群を中性子束、残りの  $G$  群をガンマ線束とすると、輸送方程式は、上方散乱のない場合、

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla f_i(\vec{r}, \vec{\Omega}) + \Sigma_{T,i}^n(\vec{r}) f_i(\vec{r}, \vec{\Omega}) = S_i^n(\vec{r}, \vec{\Omega}) \\ + \sum_{k=1}^N \int d\vec{\Omega}' \Sigma^n(\vec{r}, E_k \rightarrow E_i, \vec{\Omega}' - \vec{\Omega}) f_k(\vec{r}, \vec{\Omega}') \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (2.1)$$

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla f_j(\vec{r}, \vec{\Omega}) + \Sigma_{T,j}^r(\vec{r}) f_j(\vec{r}, \vec{\Omega}) = S_j^r(\vec{r}, \vec{\Omega}') \\ + \sum_{k=1}^N \int d\vec{\Omega}' \Sigma^r(\vec{r}, E_k \rightarrow E_j, \vec{\Omega}' - \vec{\Omega}) f_k(\vec{r}, \vec{\Omega}') \quad (j=N+1, \dots, N+G) \quad (2.2)$$

ここで

$\Sigma_{T,i}^n(\vec{r})$ : i 群中性子衝突全断面

$\Sigma_{T,j}^r(\vec{r})$ : j 群ガンマ線衝突全断面積

$\Sigma^n(\vec{r}, E_k \rightarrow E_j, \vec{\Omega}' - \vec{\Omega})$ : 中性子エネルギー移動断面積

$\Sigma^r(\vec{r}, E_k \rightarrow E_j, \vec{\Omega}' - \vec{\Omega})$ :  $k \leq N$ , 2次ガンマ線発生断面積  
 $k \geq N+1$ , ガンマ線エネルギー移動断面積

$S^n, S^r$ : 中性子及びガンマ線外部源

である。上方散乱のある場合も同様で、(2.1), (2.2)式の右辺の  $k$  についての和をすべての群についてとればよい。中性子およびガンマ線による発熱は、

$$\text{中性子発熱} = \sum_{i=1}^N H(E_i) \int d\vec{\Omega} f_i(\vec{r}, \vec{\Omega}) \quad (2.3)$$

$$\text{ガンマ線発熱} = \sum_{j=N+1}^{N+G} H(E_j) \int d\vec{\Omega} f_j(\vec{r}, \vec{\Omega}) \quad (2.4)$$

ここで、  $H$  は中性子あるいはガンマ線反応による発熱定数 ( $\text{MeV}/\text{cm}^3$ ) で、発熱の単位は、 ( $\text{MeV}/\text{sec} \cdot \text{cm}^3$ ) となる。発熱コードシステムは、Fig. 2.1に示す構造をなしている。

#### (i) CONTROL ROUTINE

本コードシステムのうち群定数システムに関係する SUPERTOG-V3-JR, THERMOS-JR, POPOP4-JR, GAMLEG-JR, NEHEAT, TOTAL COUPLE および GROUP INDEPENDENT の 7 本のコードを制御するコードであり、各コードを使用するか否かは入力データのオプションにより決定される (Fig. 2.2 参照)。

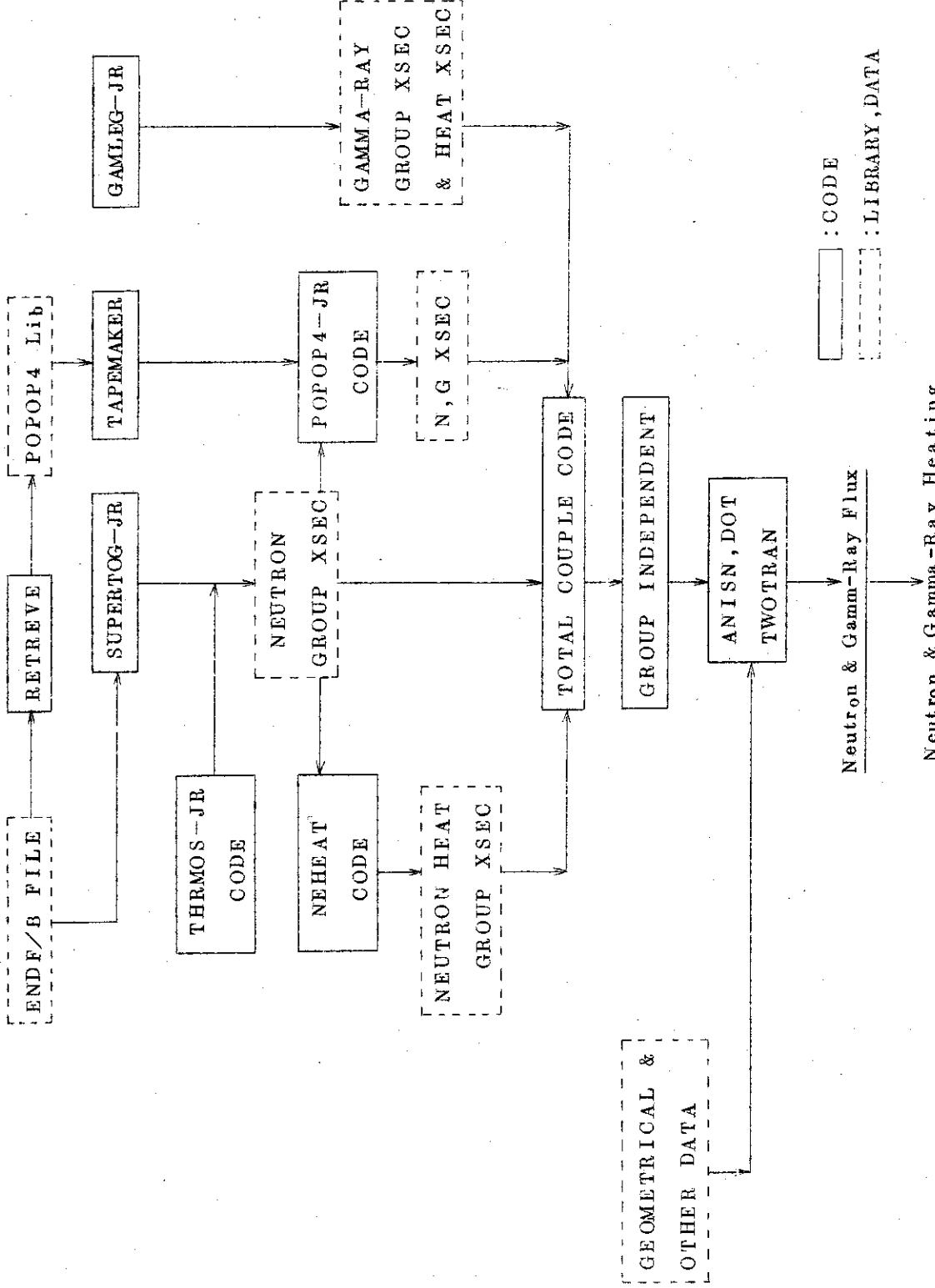


Fig 2.1 Hierarchy of RADHEAT CODE system

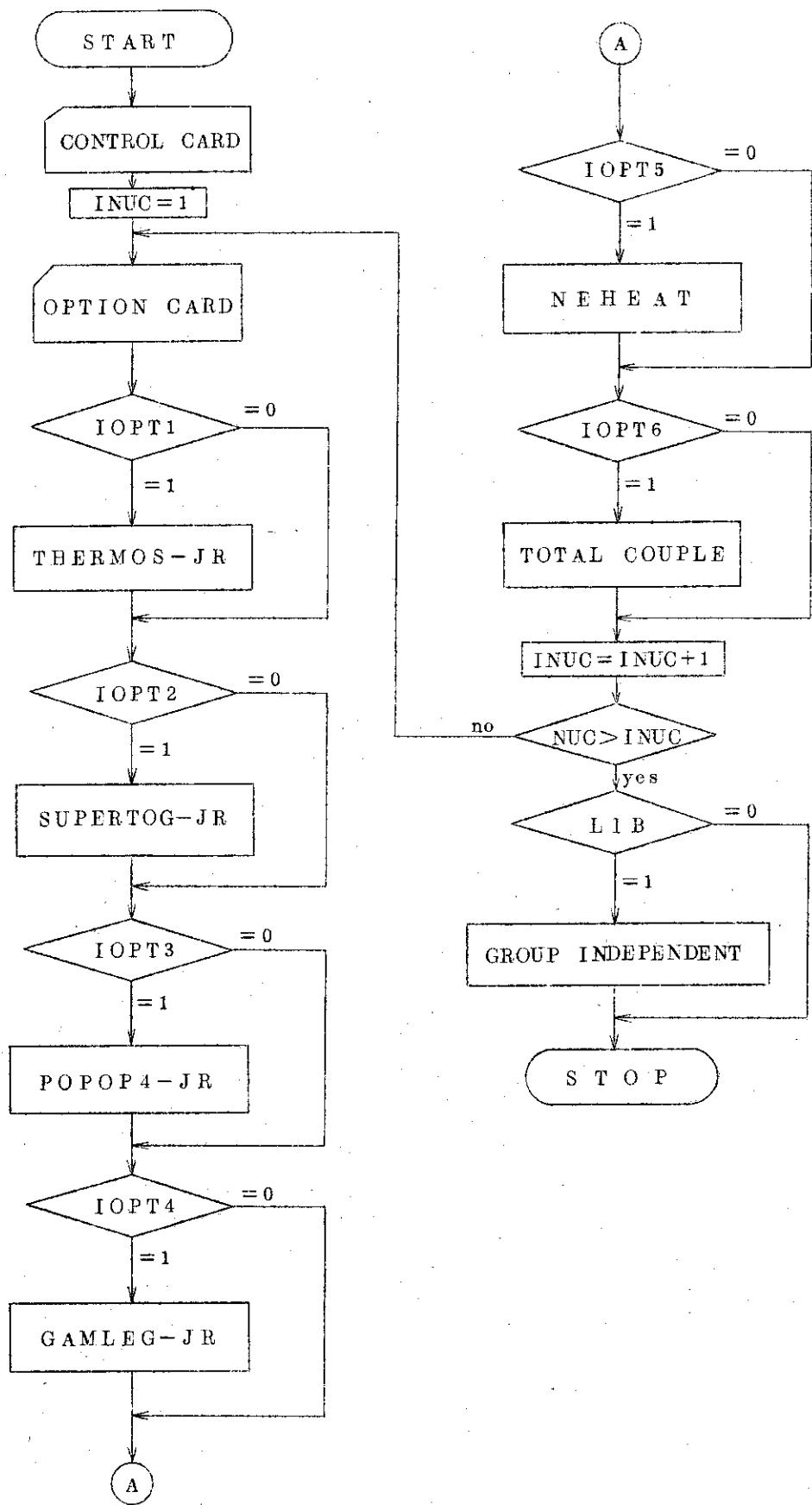


Fig. 2.2 Flow diagram for the production of nuclear data file.

## (ii) SUPERTOG-V3-JR ROUTINE

中性子群定数を作成し、さらにPOPOP4-JRおよびNEHEATで必要な各種の断面積、NEHEATで用いるスペクトルにより平均された中性子エネルギーも計算される。

SUPERTOG-V3では弾性マトリックス計算において $\sigma_s$ (MAXG→MAXG+1)の値が計算されるが、本システムではオプションとしてこの値を $\sigma_s$ (MAXG→MAXG)の値に加える操作がなされている。

## (iii) THERMOS ROUTINE

熱領域のデータ( $P_o : \sigma_a, \nu\sigma_f, \sigma_T, \sigma_{g \rightarrow g}$ ;  $P_i : \sigma_{g \rightarrow g}$ )を計算し、SUPERTOG-V3-JRで計算された、第MAXG群のデータと置換される。熱領域のデータが重要でない場合はこのルーチンは実行する必要はない。

このコードでは1回の計算で多くの核種のデータが計算され、これらのデータがすべてCOMMON領域に保存される。したがって、最初の核種の計算のとき、このコードで必要なすべての核種の熱領域のデータを計算し、その後の核種ではCOMMON領域よりデータを選択するだけにする。

## (iv) POPOP4-JR ROUTINE

2次ガンマ線生成断面積を計算する。このコードの入力として必要な断面積は、SUPERTOG-V3-JRで計算された各種の断面積の中から反応の種類に応じて自動的に選択される。

## (v) NEHEAT ROUTINE

中性子発熱定数を計算する。

## (vi) GAMELG-JR ROUTINE

ガンマ線輸送断面積およびガンマ線発熱定数を計算する。

## (vii) TOTAL COUPLE CODE

上記の各コードで作成された各種の群定数をANISNの入力形式に適合するよう、結合・配列するコードである。必要に応じて結合された定数は、ディスク・パックに核データファイルとして保存され、後述のGROUP INDEPENDENT CODEの入力となる。保存する必要のない場合はWORKディスクに出力させ、直接GROUP INDEPENDENT コードの入力とすることも可能である。

## (viii) GROUP INDEPENDENT ROUTINE

TCUPコードにより作成された核データファイルおよび既に保存されている他の核種の核データ・ファイルより必要な核種を選び、GROUP INDEPENDENT TAPEを作成する。

## (IX) 輸送・発熱計算

GROUP IN ROUTINEで作成されたGROUP INDEPENDENT TAPEをライブラリデータとして、SnコードANISN-JR, DOT-2あるいはTWOTRANで1次元または2次元の中性子、ガンマ線の輸送・発熱計算を行なう。

## 2.2 SUPERTOG-V3-JR

SUPERTOG-V3-JRは、核データファイルENDF/B-III<sup>10)</sup>より、中性子多群定数およびP<sub>n</sub>散乱マトリックスを作成する。SUPERTOG-V3<sup>7)</sup>を本コードシステムに適合するように改造したものである。中性子多群定数の作成にあたって、断面積のためらかな部分の扱い、分離領域の単一レベルのBreit Wignerの公式の適用、連続領域の統計的扱いはSUBERTOG-V3と変わらない。またP<sub>n</sub>散乱マトリックスの作成にあたっての、弾性散乱の扱い、連続領域での蒸発モデルの適用、(n, 2n)反応の扱いもSUPERTOG-V3と全く同じである。

ただ、SUPERTOG-V3では、ENDF/B File 4のデータ(2次中性子の角度分布のデータ)がルジャンドル係数の形で与えられていないと、弾性散乱マトリックスの計算はできなかった。SUPERTOG-V3-JRでは、このデータが角度分布表の形で与えられているときでも、この表からルジャンドル係数を自動的に求めて弾性散乱マトリックスを計算できるよう改造した。なお係数の変換は次式で行なった。

$$f_m(E) = \int_{-1}^1 P(\mu, E) P_m(\mu) d\mu \quad (2.5)$$

ここで、

$f_m(E)$  : m次のルジャンドル係数 ( $1 \leq m \leq 8$ )

$P(\mu, E)$  : ENDF/B File 4に与えられている角度分布の表。

この改造により、Be, Cr, Niなどの核種が扱えるようになった。なお改造により追加されたサブルーチンは、PTOFL, PINTEG, SISPSN, LEGDD, およびTABLT2である。

またSUPERTOG-V3ではANISNの群定数を作成するときは、熱群のデータ( $\sigma_a$ ,  $\nu\sigma_f$ ,  $\sigma_T$ ,  $\sigma_{g\rightarrow g}$ )はカードから入力するようになっている。これも必要に応じてTHERMOS-JRによって熱群定数を作成し、自動的にSUPERTOG-V3-JRに入力するよう変換された。

弾性散乱マトリックスの計算において、SUPERTOG-V3では、最低エネルギー群(MAXG)よりMAXG+1群への散乱が計算されている。このMAXG+1群がSUPERTOG-V3の熱群に相当している。SUPERTOG-V3-JRでは、MAXG群を熱群としているため、 $\sigma_s$ (MAXG→MAXG+1)の値を $\sigma_s$ (MAXG→MAXG)に加えるよう修正している。この処理のために追加したサブルーチンはSUBNW4である。

SUPERTOG-V3-JRは、中性子発熱定数(NEHEAT)と2次ガンマ線生成定数(POPOP4-JR)の作成に必要な群定数を作成する。NEHEATへは、各群毎の分裂断面積 $\sigma_f$ 、弾性散乱断面積 $\sigma_s$ の $P_0/P_1$ 成分、非弾性散乱マトリックス $\sigma_{in,g\rightarrow g'}$ 、(n, 2n)反応の放出マトリックス、および陽子、重陽子、 $\alpha$ 粒子放出断面積が送られる。これらの計算はサブルーチンSUBNW1, SUBNW3, AVGPで行なわれる。POPOP4-JRへは、

2次ガンマ線を放出する中性子反応断面積( $(n, \gamma)$ ,  $(n, n\gamma)$ ,  $(n, p\gamma)$ ,  $(n, \alpha\gamma')$ ,  $(n, 2n\gamma)$ ,  $(n, f)$ )が送られる。これらの処理はサブルーチン SUBNW3 で行なわれる。

SUPERTOG-V3-JR は、また反応媒質の原子除去断面積(Displacement cross section)と中性子発熱定数を、LINK 6 = 1 とすれば作成する。発熱定数は、弾性散乱、非弾性散乱(分離領域と非分離領域)については、各群をさらに多領域に分けて計算を行うため NEHEAT で得られるものより正確な値を得るが、核反応の種類が限られているため、特殊な非増倍系に用いられる。原子除去断面積は、中性子による照射損傷、すなわち 1 中性子反応につき所定の位置から移動させられる媒質の原子の数を Lindhard モデル<sup>11)</sup>にもとづいて解析するものである。これに関する別途報告予定である。

### 2.3 THERMOS-JR

SUPERTOG-V3 で作成される各核種の断面積は組成内の中性子束空間分布が考慮されていない。一般に熱中性子束は局所的に空間的な歪が大きく、これを無視すると大きな誤差を生む原因となることがある。したがって、熱群の群定数を正確に求める必要があるときは、THERMOS-JR を用いて、SUPERTOG-V3-JR の熱群のデータを入れかえることができるようとした。

THERMOS-JR は、THERMOS-MUG<sup>9)</sup>に次の計算を付加したものである。

$$\bar{\sigma}^i = \frac{\int_E \int_V N^i(r) \sigma^i(E) \phi(r, E) dr dE}{(\int_V N^i(r') dr' / \int_V dr') \int_E \int_V \phi(r, E) dr dE} \quad (2.6)$$

$N^i(r)$  : 場所  $r$  における核種  $i$  の個数密度,

$\phi(r, E)$  : 場所  $r$ , エネルギー  $E$  における中性子束密度,

$\sigma^i(E)$  : 核種  $i$  のエネルギー  $E$  におけるミクロ断面積

( $\sigma_a$ ,  $\nu\sigma_f$  または  $\sigma_{s_0}$ )

$$\bar{\sigma}_{s_0}^i = \frac{\int_E \int_V N^i(r) \mu^i(E) \sigma_{s_0}^i(E) \phi(r, E) dr dE}{(\int_V N^i(r') dr' / \int_V dr') \int_V \int_E \phi(r, E) dr dE} \quad (2.7)$$

ここで、

$\mu^i(E)$  : 核種  $i$  のエネルギー  $E$  における散乱断面積の  $P_1$  成分と  $P_0$  成分の比である。この計算はサブルーチン EDIT3 で行なわれる。なお、このつけ加えられたルーチンは常に一番初めの領域について計算するようになっている。群数は 1 群である。他の点は THERMOS-MUG と同じであるが、核種番号は固定化した。

### 2.4 POPOP4-JR

POPOP4-JR は、中性子反応によって生成されるガンマ線の個数スペクトルを、要請された中性子ガンマ線の群構造に変換するコードである。実験値あるいは半実験値で与えられたデータを、要請された中性子ガンマ線の群構造へ内外挿する方法は、POPOP4<sup>(6)</sup>と同じである。2次ガンマ線はすべて等方に発生するとする。

2次ガンマ線の個数スペクトルが、捕獲反応、分裂反応等の一反応につき与えられている時は、その中性子反応の断面積がそのスペクトルに掛けられる。断面積は、 SUPERTOG-V3-JR で作成され、必要とする断面積が自動的にこのルーチンへ入力される。この処理はサブルーチン RDMULT, MULT9 で行なわれる。

POPOP4ライブラリデータ<sup>12)</sup>に収録されているデータは約50核種、150反応(核種、反応共に現在集積中)である。反応の分類はTable 2.1の通りであるが、すべてのデータが集積されてはいない。また、同一核種、同一反応につき数種のデータが収録されているものもあり、このような場合は最も良いデータを選択しなければならない。このライブラリ・テーブに新しいデータを付加したり、古いデータを削除するにはTAPE MAKER<sup>13)</sup>が用いられる。

現在の所、Al, Fe, Ni, Cu, Pb のデータについては、実験との比較が総合的に行なわれている<sup>14)</sup>が、他のデータについては今後の検討を待たねばならない。

捕獲反応ガンマ線のデータは、ほとんど熱中性子反応によるものであるが、放出されるガンマ線の総エネルギーと反応による質量欠損のエネルギーの比較が、Table 2.2に示されている。また、共鳴領域の捕獲反応ガンマ線のデータが収録されている場合には、熱中性子反応ガンマ線のデータと自動的に置換されるようにした。

<sup>235</sup>U, <sup>239</sup>Pu の核分裂反応による2次ガンマ線生成についても現在の所、熱中性子束領域のデータしかない。今後のデータの集積を待たねばならない。

Table 2.1 Secondary gamma-rays production reactions

I.D.NO.	Reaction	Cross section
0	continuum	not treated
1	(n; r) nonfission	$\sigma_{n,r}$
2	(n; $\alpha$ , r)	$\sigma_{n,\alpha}$
3	(n; n', r)	$\sigma_{in}$
4	(n; 2n', r)	$\sigma_{n,2n}$
5	(n; 3n', r)	not treated
6	(n; p, r)	$\sigma_{n,p}$
7	(n; charged particle, r)	$\sigma_{n,p} + \sigma_{n,\alpha}$
9	(n, r) fission	$\sigma_f$

Table 2.2 Comparison of total gamma-ray energy released by neutron capture and the binding energy of captured neutron(MeV).

Element	B.E. <sup>a)</sup>	N.I.M. <sup>b)</sup>	Total energy released by neutron capture (POPOP4 Lib, HNDF/B-III etc)				
<sup>1</sup> H	2.25		2.230 <sup>c)</sup> (010101) <sup>d)</sup>				
Li		0.917	8.908 (030101)				
<sup>9</sup> Be	6.815	6.653	9.097 (040101)	6.803 (040102)			
B		2.307					
C	4.945	3.313	4.899 (060101)				
N	10.898	10.357	0.475 (070101)	10.862 (070102)			
<sup>16</sup> O	4.20		4.20 (ENDF/III)				
F		6.347	14.040 (090101)				
Na	6.960	7.684	6.240 (110101)	8.463 (110102)	6.873 (113101)	11.228 (113102)	
Mg	9.092	4.988	5.715 (120101)				
Al	7.724	5.562	7.393 (130101)	11.787 (130102)	9.180 (130103)	7.450 (130104)	7.279 (130105)
			9.198 (130106)	6.053 (137170)	7.099 (137102)	7.70 (ENDF/III)	
Si	8.92	9.302	9.288 (140101)	10.501 (140102)	9.305 (140103)	9.041 (140104)	9.575 (140105)
P		6.922	11.342 (150101)				
S		6.513	8.381 (160101)	7.909 (160102)	8.115 (160103)		
Cl	8.57	5.292	7.855 (170101)	9.510 (170102)	9.335 (170103)	7.88 (Groshev)	
K	7.80	4.574	5.843 (190101)	7.526 (190102)	9.702 (190103)		

Table 2.2 (continued)

Element	B.E. <sup>a)</sup>	N.I.M <sup>b)</sup>	Total energy released by neutron capture (POPOP4 Lib, HNDF/B-III etc)				
			11.798 (200101)	8.216 (200102)	10.70 (200103)		
Ca	8.36	4.890					
Se		4.146					
Ti	8.270	8.961	7.661 (220101)	8.765 (220102)	8.623 (220103)		
V		7.862					
Cr	9.257	7.580	4.313 (240101)				
Mn	7.270	6.301	5.358 (255101)				
Fe	7.79	6.326	7.040 (260101)	7.459 (260102)	7.452 (260103)	7.393 (260104)	7.394 (260105)
			7.480 (260105)	7.80 (ENDF/III)			
Co		4.105	5.061 (279101)				
Ni	8.528	8.464	6.253 (280101)	7.773 (280103)	7.831 (280104)		
Cu	7.750	5.981	7.394 (290101)	7.910 (290103)	7.931 (290104)	7.849 (290105)	7.911 (290106)
Zn	8.120	3.311	9.149 (300101)	9.135 (300102)			
Pb	7.27	6.983	7.325 (820102)	6.805 (824101)			

a) B.E.: Binding Energy

b) Nucl. Inst. &amp; Method., 80 (1970)

Nucl. Inst. &amp; Method., 93 (1971)

c)  $E = \sum E_{G_i} Y_i$ 

d) Classification No. of reaction nucleide in POPOP4 library in parentheses

## 2.5 GAMLEG-JR

GAMLEG-JR は、ガンマ線輸送計算のための多群定数の作成およびガンマ線発熱定数の計算を行なうコードで、GAMLEG<sup>8)</sup>を改造したものである。GAMLEGは光電効果、電子対生成およびコヒーレント散乱の各断面積データをカード形式で与えるようになっていて、GAMLEG-JRではこれらの断面積も原子番号を指定することにより、自動的に計算し、ANISN型の群定数を作成するようになっている。以下これらの断面積の計算方法を述べる。

## (i) 光電効果断面積

K殻の光子エネルギーに対する光電効果の断面積は、次式で与えられる。<sup>15)</sup>

$$\tau_k = Z^5 \sum_{n=1}^4 \left| \frac{a_n + b_n z}{1 + c_n z} \right| \cdot E^{-p_n} \quad \left( \frac{b}{atom} \right) \quad (2.8)$$

$$\tau_{pe} = \tau_k (1 + 0.01481 \ln^2 z - 0.000788 \ln^3 z) \quad (2.9)$$

ここで、 $a_n$ ,  $b_n$ ,  $c_n$  および  $p_n$  は下表の値を用いる。

n	$a_n$	$b_n$	$c_n$	$p_n$
1	$1.6268 \times 10^{-9}$	$-2.683 \times 10^{-12}$	$4.173 \times 10^{-2}$	1
2	$1.5274 \times 10^{-9}$	$-5.110 \times 10^{-13}$	$1.027 \times 10^{-2}$	2
3	$1.1330 \times 10^{-9}$	$-2.177 \times 10^{-12}$	$2.013 \times 10^{-2}$	3.5
4	$-9.12 \times 10^{-11}$	0.0	0.0	4

Z > 8 の元素に対して、光子エネルギーが

$$E = 0.01 \exp [0.031(Z-8)] \text{ [MeV]} \quad (2.10)$$

より小さい場合には、次式でえられる断面積を用いた。<sup>6)</sup>

$$a\tau_k = \frac{3}{2} \phi_0 \frac{Z^5}{(137)^4} n^5 (\gamma^2 - 1)^{\frac{3}{2}} \left[ \frac{4}{3} + \frac{\gamma(\gamma-2)}{\gamma+1} \left( 1 - \frac{1}{2\gamma(\gamma^2-1)^{\frac{1}{2}}} \right. \right. \\ \left. \left. + \ln \frac{\gamma + (\gamma^2-1)^{\frac{1}{2}}}{\gamma - (\gamma^2-1)^{\frac{1}{2}}} \right) \right] \cdot f \quad (2.11)$$

ここで

$$\phi_0 = 8\pi r_0^2 / 3 = 6.6537 \times 10^{-25} \text{ [cm}^2]$$

$$r_0 = e^2 / (mc^2) = 2.8182 \times 10^{-13} \text{ [cm]}$$

$$mc^2 = 0.51084 \text{ [MeV]}$$

$$n = mc^2 / (h\nu)$$

$$\gamma = h\nu / (mc^2) + 1 \quad (2.12)$$

$$I = (Z-0.3)^2 R_y \quad (2.13)$$

$$R_y = 1.352 \text{ eV (Rydberg 定数)}$$

$$x = (I / (h\nu - I))^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

$$f = 2\pi \left( \frac{I}{h\nu} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{\exp(-4x \arccot x)}{1 - \exp(-2\pi x)} \right] \quad (2.15)$$

である。また L 装置に対する式は、<sup>17)</sup>

$$\tau_{LII} = \frac{2^{12} \pi \phi_0 (137)^3}{(Z-S_2)^2} \left( \frac{\nu_2}{\nu} \right)^4 \left( 1 + 3 \frac{\nu_2}{\nu} \right) \cdot \frac{\exp(-8\zeta_2 \arccot \zeta_2)}{1 - \exp(-4\pi \zeta_2)} \quad (2.16)$$

$$\tau_{LIII} + \tau_{LI} = \frac{2^{12} \pi \phi_0 (137)^3}{(Z-S_2)^2} \left( \frac{\nu_2}{\nu} \right)^5 \left( 3 + 8 \frac{\nu_2}{\nu} \right) \frac{\exp(-8\zeta_2 \arccot \zeta_2)}{1 - \exp(-4\pi \zeta_2)} \quad (2.17)$$

ここで、

$$S_2 = 4.15 \quad (Z \geq 10)$$

$$\nu_2 = \frac{1}{4} (Z - S_2)^2 \cdot R_y \quad (2.18)$$

$$\zeta_2 = [\nu_2 / (\nu - \nu_2)]^{\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

である。

### (ii) 電子対生成断面積

電子対生成断面積は次式から求める。<sup>15)</sup>

$$1) E \leq 0.511 \text{ MeV} \quad \kappa = 0.0 \quad (2.20)$$

$$2) 0.511 \text{ MeV} < E < 2 \text{ MeV}$$

$$\kappa = \frac{Z^2 \cdot r_0^2}{137} \frac{\pi}{3} \left( \frac{k-2}{k} \right)^3 \left[ 1 + \frac{1}{2} \rho + \frac{23}{40} \rho^2 + \frac{11}{60} \rho^3 + \frac{29}{960} \rho^4 + \dots \right] \quad (2.21)$$

$$3) E \geq 2 \text{ MeV}$$

$$\kappa = \frac{Z^2 \cdot r_0^2}{137} \left\{ \frac{28}{9} \ln(2k) - \frac{218}{27} + \left( \frac{2}{k} \right)^2 \left[ 6 \ln(2k) - \frac{7}{2} + \frac{2}{3} \ln^3(2k) \right. \right.$$

$$\left. \left. - \ln^2(2k) - \frac{1}{3} \pi^2 \ln(2k) + 2\zeta(3) + \frac{\pi^2}{6} \right] \right. \\ \left. - \left( \frac{2}{k} \right)^4 \left[ \frac{3}{16} \ln(2k) + \frac{1}{8} \right] \right. \\ \left. - \left( \frac{2}{k} \right)^6 \left[ \frac{29}{9 \cdot 256} \ln(2k) - \frac{77}{27 \cdot 512} \right] + \dots \right\} \quad (2.22)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{2k-4}{2+k+2\sqrt{k}} \\ \zeta(3) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} = 1.2020569\dots \\ k &= h\nu/mc^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

## (III) コヒーレント散乱

コヒーレント散乱断面積は、<sup>15)</sup>

$$d\sigma_R(\theta)/d\Omega = \frac{r_0^2}{2} (1 + \cos^2 \theta) [F(g, Z)]^2 \quad (2.24)$$

で与えられる。ここで  $F(g, z)$  は原子波動関数から与えられる関数である。GAMLEG-JR では文献 18) に与えられているデータからコヒーレント散乱断面積を原子番号  $Z$  と光子エネルギー  $E$  の関数として与えた。なお Fig. 2.3 は文献 18) に与えられている H, Al, Fe および Pb のコヒーレント散乱断面積である。

## (IV) ガンマ線発熱定数

媒質中にガンマ線が入射したとき、体積要素  $dV$  に吸収されるガンマ線エネルギー  $\epsilon_a$  (MeV/sec) は

$$\epsilon_a = \epsilon_s + \epsilon_{in} - \epsilon_{out} \quad (2.25)$$

で表わされる。<sup>19)</sup> ここで、 $\epsilon_s$  は  $dV$  中のガンマ線エネルギーが電子あるいは陽電子の運動エネルギーに変換され、さらに電子衝突によって媒質中に分散される割合である。 $\epsilon_{in}$  と  $\epsilon_{out}$  は、それぞれ電子が  $dV$  中へ外から持込むエネルギー、電子が  $dV$  から外へ運び出すエネルギーの割合である。一般に電子の飛程は  $dV$  より小さいので  $\epsilon_s \gg \epsilon_{in}$ ,  $\epsilon_s \gg \epsilon_{out}$  とみることができる。したがって、光子から電子へのエネルギーの転移の割合は、 $dV$  中を通る光子の数と、その光子のエネルギーに比例する。この比例定数「質量エネルギー係数」は、

$$\mu_{en}/\rho = (\frac{\sigma}{\rho}) f_c + (\frac{\tau}{\rho}) f_\tau + (\frac{\kappa}{\rho}) f_\kappa \quad (2.26)$$

で与えられる。ここで  $\sigma$  : コンプトン散乱、 $\tau$  : 光電効果、 $\kappa$  : 電子対生成の断面積、 $f_c$ ,  $f_\tau$ ,  $f_\kappa$  はそれぞれの相互作用によりエネルギー吸収に寄与する割合である。

GAMLEG-JR では  $f_c$ ,  $f_\tau$ ,  $f_\kappa$  をそれぞれ次のようにして求める。

(V)  $f_c$  の計算

$f_c$  は次式から求める。<sup>19)</sup>

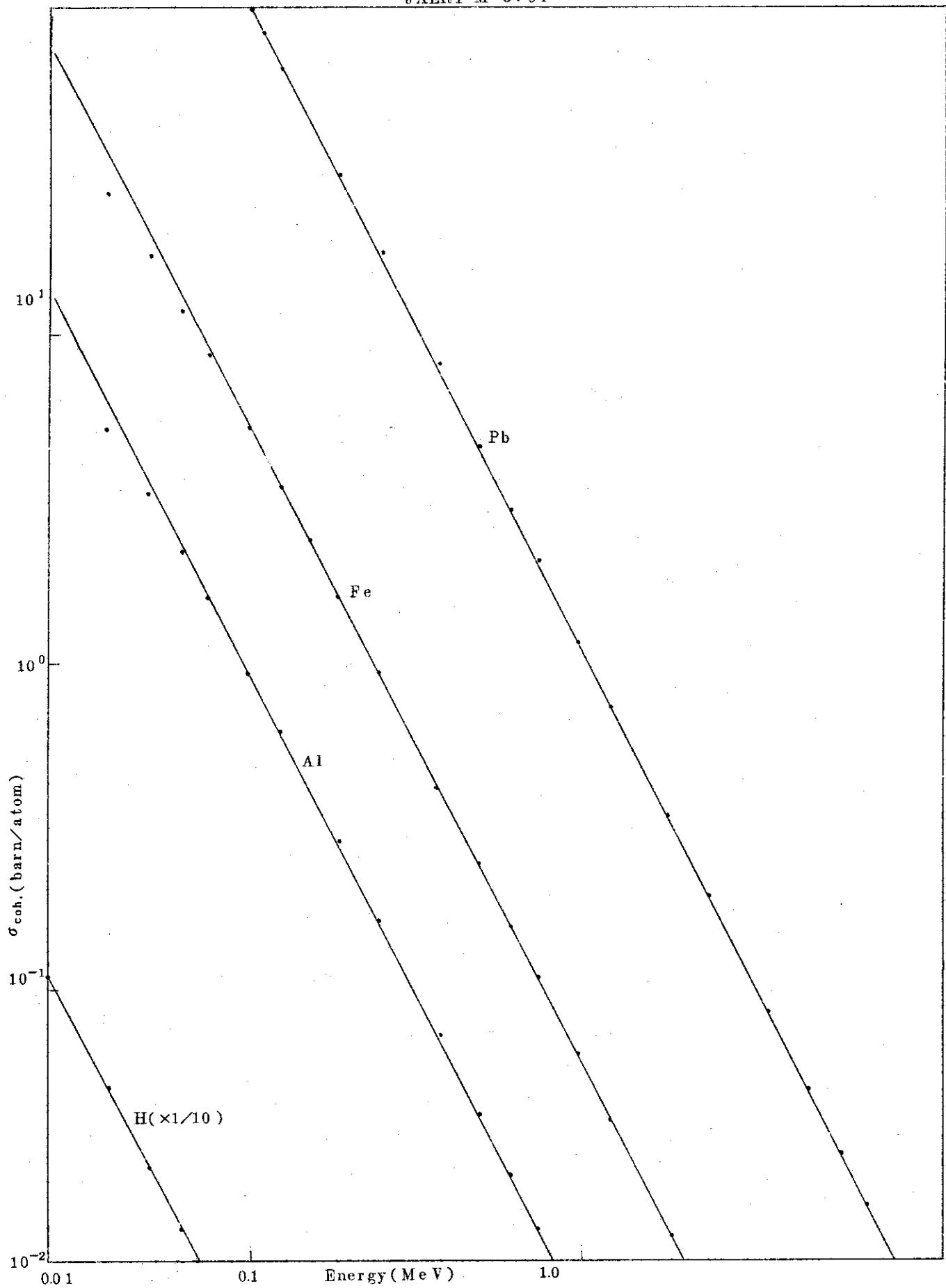
$$f_c(h\nu) = \frac{1}{h\nu} \int_0^{T_{max}} P_c(h\nu, T) T (1 - G_{br}(T)) dT \quad (2.27)$$

ここで、

$$T_{max} = \frac{2(h\nu)^2}{mc^2 + 2h\nu} \quad (2.28)$$

$P_c(h\nu, T) = (\frac{d\sigma}{dT})/\sigma_T$  : エネルギ  $h\nu$  の光子がコンプトン散乱でエネルギー  $T$  と  $T + dT$  の間に自由電子を散乱する割合

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{\pi r_0^2 mc^2}{(h\nu_0 - T)^2} \left\{ \left[ \frac{mc^2 T}{(h\nu_0)^2} \right]^2 + 2 \left[ \frac{h\nu_0 - T}{h\nu_0} \right]^2 + \frac{h\nu - T}{(h\nu_0)^3} \left[ (T - mc^2)^2 - (mc^2)^2 \right] \right\} \quad (2.29)^{19)}$$

Fig. 2.3 Coherent gamma-ray scattering cross section<sup>18)</sup>

$$\sigma_T = 2\pi r_0^2 \left\{ \frac{1+\alpha}{\alpha^3} \left[ \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \ln(1+2\alpha) \right] + \frac{\ln(1+2\alpha)}{2\alpha} - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2} \right\} \quad (2.3.0)^{(21)}$$

$$\alpha = h\nu / (mc^2)$$

$\alpha \ll 1$  のとき (2.3.0) 式は,

$$\sigma_T = \frac{8}{3}\pi r_0^2 [1 - 2\alpha + 5.2\alpha^2 - 13.3\alpha^3 + 32.7\alpha^4 \dots] \quad (2.3.1)^{(21)}$$

さらに (2.2.7) 式  $G_{br}(T)$  は運動エネルギー  $T$  の電子が制動放射で失なうエネルギーの割合で

$$G_{br}(T) = \frac{1}{T} \int_0^T y(T, T') \left\langle -\frac{dT'}{dx} \right\rangle_{rad} dT' \quad (2.3.2)$$

$$y(T, T') \sim \left[ \left\langle -\frac{dT}{dx} \right\rangle_{coll} + \left\langle -\frac{dT'}{dx} \right\rangle_{rad} \right]^{-1}$$

から求められるが、一般に小さいので GAMLEG-JR では無視した。

#### (VI) $f_\tau$ の計算

$f_\tau$  は 0.1 MeV から 100 MeV まで、制動放射を無視して<sup>19)</sup>

$$f_\tau = 1 - \left( \frac{\tau^k}{\tau} \right) \left( \frac{F_k \bar{E}_k}{h\nu} \right) \quad (2.3.3)$$

で求める。ここで

$\tau^k$ :  $k$  裂における光電効果断面積

$\bar{E}_k$ : 螢光光子の平均エネルギー [keV]

$F_k$ : 平均螢光光子の収率

Table 2.3 は種々の元素に対する  $\bar{E}_k$ ,  $F_k$  を示したものである。GAMLEG-JR では、Table 2.3 から Z のみの関数として  $\bar{E}_k$ ,  $F_k$  を求める。

Table 2.3 Average energy  $\bar{E}_k$  and yield  $F_k$  in K-shell photoelectric reactions.

元素	Z	$F_k$	$\bar{E}_k$ (keV)
C	6	0	0.282
N	7	0	0.392
O	8	0	0.523
Na	11	0.01	1.05
Mg	12	0.02	1.27
Al	13	0.04	1.49
P	15	0.07	2.10
S	16	0.09	2.40
Ar	18	0.13	2.98
K	19	0.15	3.34
Ca	20	0.17	3.73
Fe	26	0.308	6.46
Cu	29	0.40	8.14
Pb	82	0.9558	76.5

Table 2.4  $f_k$  (Energy absorption fraction of pair-creation reaction) with corrections for bremsstrahlung losses but without correction for annihilation for positrons.<sup>19)</sup>

Element Z	H	C	N	O	Na	Mg	Al	P	S	A	K	Ca	Fe	Cu	Pb
photon energy (MeV)	1	6	7	8	11	12	13	15	16	18	19	20	26	29	82
1.5	0.318	0.318	0.318	0.317	0.317	0.317	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.316	0.317	0.314	0.312
2.0	0.488	0.487	0.489	0.486	0.485	0.485	0.487	0.484	0.484	0.483	0.483	0.482	0.484	0.480	0.471
3.0	0.658	0.655	0.654	0.654	0.652	0.651	0.653	0.649	0.648	0.647	0.646	0.645	0.646	0.640	0.616
4.0	0.743	0.738	0.737	0.736	0.733	0.732	0.734	0.729	0.728	0.726	0.725	0.724	0.722	0.715	0.675
5.0	0.794	0.787	0.788	0.785	0.780	0.779	0.780	0.775	0.774	0.771	0.770	0.769	0.763	0.757	0.701
6.0	0.828	0.820	0.818	0.816	0.811	0.810	0.809	0.804	0.803	0.799	0.798	0.796	0.788	0.781	0.712
8.0	0.870	0.858	0.855	0.853	0.846	0.843	0.842	0.836	0.834	0.829	0.827	0.824	0.811	0.804	0.712
10.0	0.895	0.879	0.876	0.873	0.863	0.861	0.857	0.851	0.848	0.842	0.839	0.836	0.819	0.808	0.700

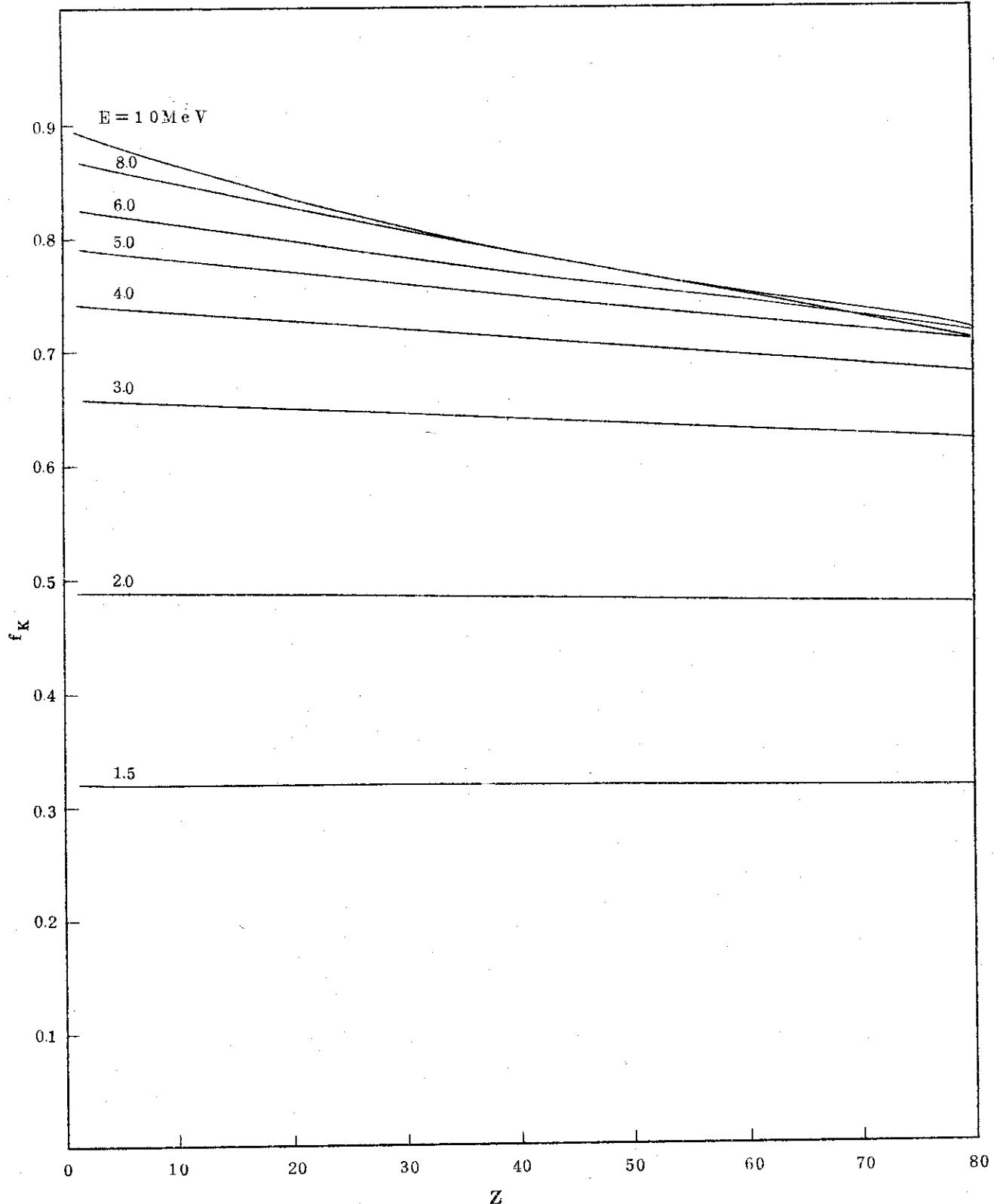


Fig 2.4 Energy absorption fraction for pair-creation reaction  $f_k$  value with correction for bremsstrahlung losses as a function of incident photon energy and medium

(VII)  $f_k$  の計算 $f_k$  は、厳密には<sup>19)</sup>

$$f_k = 1 - \frac{2mc^2}{h\nu} - \frac{1}{h\nu} \int_0^{h\nu-2mc^2} P_p(h\nu, T^+, T^-) [T^+ G_{br}(T^+) + T^+ G_{br}(T^+) + \tau(T^+)] dT^+ \quad (2.3.4)$$

から求めなければならない。

Table 2.4 は annihilation 効果を無視したときの各元素に対する  $f_k$  の値である。この値をプロットしたものが Fig. 2.4 である。図からわかるように  $f_k$  は光子エネルギーをパラメータにして、Z の関数で近似することができる。GAMBLEG-JR では Table 2.4 の値を用いて、 $f_k$  をエネルギーと原子番号の関数として表わした。

これらの諸断面積を計算するため GAMBLEG に追加したサブルーチンは、CROSS, POTO, PAIR, COHER, POTO3, PO6MV1, FUNC1, FUNC2, NROW, TERPO, INTER, CONPT, PC である。また ANISN 型のデータをカード出力するためのサブルーチンは HENO である。

## 2.6 NEHEAT

NEHEAT は中性子と標的核との作用による発熱を計算する。発熱計算の基本式は、

$$H(E) = \int d\Omega \left[ \frac{d\sigma(E, \phi)}{d\Omega} \right] \cdot T \\ = \sigma(E) \int_0^{T_{max}} dT \left[ \frac{d\Omega(E, \phi)}{dT} \right] \left[ \frac{d\sigma(E, \phi)}{\sigma d\Omega} \right] \cdot T \quad (2.3.5)$$

で与えられる。ここで、E, T はそれぞれ実験室系での、中性子の入射エネルギー、静止していた標的核へ与えられた運動エネルギーであり、 $\phi$ ,  $\Omega$  はそれぞれ重心系での、中性子の散乱角と立体角であり、 $d\sigma(E, \phi)/d\Omega$  は中性子反応の微分反応断面積である。

標的核の運動エネルギー T は、 $E_m$  を重心系での中性子の反応後のエネルギーとすれば、一般に

$$T = \eta_1 \eta_2 E + (\eta_1 / \eta_2) E_m - 2 \eta_1 \sqrt{E \cdot E_m} \cos \phi \quad (2.3.6)$$

と表わせる。ここで

$$\left. \begin{array}{l} \eta_1 = 1/(A+1) \\ \eta_2 = A/(A+1) \end{array} \right\} \quad (2.3.7)$$

であり、 $\alpha = 4 \eta_1 \eta_2$  とすると  $T_{max} = \alpha E$  となる。A は標的核の質量数である。

H(E) は、微視的発熱定数であり、単位は MeV · barn で表わされ、等方な放射化断面積と同等に扱える。

## (i) 弹性散乱による発熱

弹性散乱による標的核の運動エネルギーは、(2.3.6) 式において  $E_m = \eta_2^2 E$  とおけば

$$T = \frac{1}{2} \alpha E (1 - \cos \phi) \quad (2.38)$$

となる。ゆえに

$$\frac{d\Omega}{dT} \equiv -2\pi d(\cos \phi)/dT = 4\pi/\alpha E \quad (2.39)$$

となる。また、中性子の散乱角分布を  $P(E, \cos \phi)$  とすると

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma(E, \phi)}{d\Omega} &= \frac{1}{2\pi} \sigma_{el}(E) P(E, \cos \phi) \\ &\doteq \frac{1}{4\pi} \sigma_{el}(E) \cdot (1 + 3\bar{\mu}'(E) \cdot \cos \phi) \end{aligned} \quad (2.40)$$

となる。なお、上式は散乱を  $P_1$  成分までとった。かくして、弾性散乱による発熱定数

$H_{el}(E)$  は、

$$H_{el}(E) = \sigma_{el}(E) \frac{\alpha E}{2} (1 - \bar{\mu}'(E)) \quad (2.41)$$

となる。 $\bar{\mu}'(E)$  は実験室系での  $\bar{\mu}(E)$  を用いて

$$\bar{\mu}'(E) = (\bar{\mu}(E) - \frac{2}{3A}) / (1 - \frac{3}{5A^2}) \quad (2.42)$$

と書ける。 $\bar{\mu}(E)$  は、

$$\bar{\mu}(E) = \int d\Omega' \cos(\Omega \cdot \Omega') \sigma_{el}(E, \Omega \rightarrow \Omega') / \int d\Omega' \sigma_{el}(E, \Omega \rightarrow \Omega') \quad (2.43)$$

であり、 $\sigma_{el}(E)$  と共に、エネルギー群毎に SUPERTOG-V3-JR で作成される。

### (ii) 非弾性散乱による発熱

中性子の非弾性散乱は、一般に複合核モデルで扱われる。その際、複合核の励起状態が粗であるか密であるかに従って、分離領域と連続領域に分けられて、それぞれ

$$\sigma_{in}(E \rightarrow E') = \sum_i \sigma_{in}^{in}(E) \delta(E' - E \frac{A-1}{A+1} + \frac{A}{A+1} \theta_i) \quad (2.44)^{(注1)}$$

$$\sigma_{in}(E \rightarrow E') = \sigma_c(E) \cdot f(E \rightarrow E'), \quad (2.45)$$

と表わされる。ここで、 $E$ ,  $E'$  はそれぞれ実験室での、中性子の入射、放出エネルギーであり、 $\theta_i$  は分離領域での励起エネルギー、 $f(E \rightarrow E')$  は蒸発モデルによるマックスウェル分布と同形のスペクトルである。

発熱定数の計算方法は、分離、連続領域によって当然異ってくるが、<sup>22)23)</sup> ここではすでに非弾性散乱  $\sigma_{in}(E \rightarrow E')$  が多群マトリックスとして求められているとして、

$$H_{in}(E_i) = \sum_j \sigma_{in}(E_i \rightarrow E_j) T(E_i \rightarrow E_j) \quad (2.46)$$

の形で発熱定数を求ることにする。

一般に  $E$  の入射中性子が、 $Q$  の状態を励起したとするとエネルギー保存則より、重心系での中性子の放出エネルギー  $E_m$  は

注1) SUPERTOG, TACS では実験室系で等方と仮定して上記の関係を用いているが、重心系で等方とすれば、 $E' = \frac{A^2+1}{(A+1)^2} E - \frac{A}{A+1} \theta_i$  である。差は  $2E/(A+1)^2$  であるが中重核以上では無視し得る。

( 2.47 )

$$E_m = \eta_2^2 E - \eta_2 Q$$

となる。したがって、( 2.47 )式を( 2.36 )式に代入して

$$T = \frac{\alpha}{2} E - \eta_1 Q - \frac{\alpha}{2} \sqrt{E^2 - (EQ/\eta_2)} \cdot \cos \phi \quad ( 2.48 )$$

となる。実験室系での中性子の放出エネルギー  $E'$  は、重心系でのエネルギーと次のような関係にある。

$$E' = E_m + \eta_1^2 E + 4 \eta_1 \sqrt{E E_m} \cos \phi \quad ( 2.49 )$$

したがって、( 2.47 )( 2.48 )および( 2.49 )式より  $T$  は  $E, E'$  のみで表現できる。重心系で等方とすれば( 2.48 )式の右辺第3項を無視できて、

$$T(E \rightarrow E') = \frac{1}{A} \left[ \frac{A-1}{A+1} E + E' \right] - \frac{2E}{A+1} \sqrt{\frac{E'}{E} - \eta_1^2 \cdot \cos \phi} \quad ( 2.50 )$$

となる。かくして、中性子の入射エネルギーが  $E$  で、放出エネルギーが  $E'$  である重心系で等方な非弾性散乱による発熱  $T(E \rightarrow E')$  は、

$$T(E \rightarrow E') = \frac{1}{A} \left[ \frac{A-1}{A+1} E + E' \right] \quad ( 2.51 )$$

となり、発熱定数は( 2.46 )式より求まる。非弾性散乱マトリックスは SUPER TOG-V3 - JR で作成される。

### (iii) ( $n, 2n$ ) 反応による発熱

$(n, 2n)$  反応のしきい値は 10 MeV 前後 (Be は 1.7 MeV) であり、14 MeV 中性子系では  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$  反応と共にかなり大きな寄与となる。しかし、 $(n, 2n)$  反応には陽電子、ガンマ線、中性微子等の放出をともなうため、発熱計算は容易ではない。ここでは、2個の中性子の放出過程のみを扱う。

$(n, 2n)$  反応による放出中性子のマトリックスは、蒸発モデルをもとに、種々の方法で作られる。ここでは、非弾性散乱の場合と同様に、 $(n, 2n)$  マトリックス

$$\sigma_{2n}(E \rightarrow E') = 2\sigma_{2n}(E) \cdot P(E \rightarrow E') \quad ( 2.52 )$$

がすでに作成されているものとする。 $P(E \rightarrow E')$  は1個の中性子の放出エネルギー分布である。発熱定数は、標的核の運動エネルギーを  $\bar{T}(E \rightarrow E')$  とすれば、多群表示で

$$H_{2n}(E_i) = \sigma_{2n}(E) \sum_j P(E_i \rightarrow E_n) \cdot \bar{T}(E_i \rightarrow E_j) \quad ( 2.53 )$$

となる。 $\bar{T}$  は2個の中性子によるものである。

放出される第一番目の中性子の重心系でのエネルギーを  $E_m$  とすれば、それによる標的核の平均エネルギー  $\bar{T}_1$  は( 2.36 )式より

$$\bar{T}_1 = \eta_1 \eta_2 E + (\eta_1 / \eta_2) E_m \quad ( 2.54 )$$

となる。この  $\bar{T}_1$  の A の核から第2番目の中性子  $E'_m$  が放出されたとすると、残留核の運動エネルギー  $T$  は運動量保存則より、

$$T = \frac{1}{A-1} E'_m + \frac{A-1}{A} \bar{T}_1 - 2(E'_m \bar{T}_1 / A)^{\frac{1}{2}} \cdot \cos \phi \quad ( 2.55 )$$

となる。

マトリックス  $P(E \rightarrow E')$ においては2個の中性子を区別しないで、その遷移の分布を表わしているから、 $E'_m$  と  $E_m$  を区別しなくて良い。さらに、 $E'_m$ 、 $E_m$  ともに、実験室系での値  $E'$  に近似的に等しいとすれば、 $T(E \rightarrow E')$  が求まることになる。かくして  $T$  の平均は

$$\bar{T}(E \rightarrow E') = \frac{A-1}{(A+1)^2} E + \left[ \frac{1}{A-1} + \frac{A-1}{A^2} \right] E' \quad (2.56)$$

となる。 $(2.56)$ 式を $(2.53)$ 式に代入して  $H_{2n}$  が求まる。

この他に、 $(n, 2n)$  反応で質量欠損を生じる。欠損質量のうち6割は中性微子となり、残りが陽電子の運動エネルギーとなり、電子を介してガンマ線を放出する。ここでは、これらの効果は無視する。

#### (IV) 捕獲反応による発熱

中性子の捕獲によって、残留核はガンマ線や荷電粒子( $p, d, \alpha$ )を放出する。

$(n, \gamma)$  反応の場合の発熱は、中性子捕獲による残留核の反跳と、ガンマ線の放出による反跳とがある。前者は運動量保存則により  $E/(A+1)$  である。

放出されるガンマ線のエネルギー  $E_\gamma$  は  $Q + AE/(A+1)$  であり、 $Q$  は反応前後の質量差で

$$Q = (M + M_n - M_{n-\gamma}) C^2 \quad (2.57)$$

となる。ここで、 $M$ 、 $M_n$ 、 $M_{n-\gamma}$  はそれぞれ、標的核、中性子および残留核の質量である。ガンマ線による反跳運動量は  $P_\gamma = E_\gamma/C$  であるから、 $(n, \gamma)$  反応による発熱  $H_\gamma$  は次のようになる。

$$H_\gamma(E) = \sigma_\gamma(E) \left[ \frac{E}{A+1} + \frac{1}{2} \frac{(Q + AE/(A+1))^2}{M_{n-\gamma} C^2} \right] \quad (2.58)$$

ガンマ線の輸送過程での発熱は、別にガンマ線発熱として扱われる。

$(n, \text{ charged particles})$  反応の場合の発熱は、上と同様に中性子捕獲による反跳と、荷電粒子の放出による反跳とがある。荷電粒子を一般に  $i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) とすれば、荷電粒子放出反応による発熱  $H_c$  は

$$H_c(E) = \sum_i \sigma_i^c(E) [E + Q_i] \quad (2.59)$$

となる。 $Q_i$  は荷電粒子の放出反応により欠損した質量(M eV)である。この場合、放出された荷電粒子の運動エネルギーは電磁相互作用により媒質をイオン化するか、または核反応により、すべて熱エネルギーに変換されるものとしている。

#### (V) 核分裂反応による発熱

核分裂反応によって放出される粒子等のエネルギーは Table 2.5 に示されている。核分裂片と  $\beta$  粒子の運動エネルギーはその近傍ですべて熱化するとし、放出された中性子とガンマ線は分裂片に対して反跳エネルギーを与えるものとする。エネルギーの中性子による核分裂反応での発熱  $H_{fis}$  は近似的に次のようになる。

$$H_{\text{fis}}(E) = \sigma_f(E) [ h_f + h_\beta + \frac{E}{A+1} + \frac{1}{M_{\text{F.P.}}} \int dE' W_E(E') \nu(E') E' \\ + \frac{h_T^2}{2M_{\text{F.P.}} C^2} ] , \quad (2.60)$$

ここで、 $A_{\text{F.P.}}$  は 2 個の分裂片の質量数の和、 $M_{\text{F.P.}}$  はその質量であり、 $W_E(E')$  と  $\nu(E')$  は分裂反応による中性子のスペクトルと放出個数である。

#### (VI) 中性子発熱定数

中性子発熱定数  $H_n(i)$  は

$$H_n(i) = H_{e1}(i) + H_{in}(i) + H_{2n}(i) + H_c(i) + H_{\text{fis}}(i) \quad (2.61)$$

となる。ここで用いられる断面積やマトリックスはすべて SUPER TCG-V3-JR で計算される。核子や核の質量は参考文献(25)より得た。

### 2.7 群定数処理コード

群定数処理コードは、各コードで得られた中性子とガンマ線に対する群定数を 1 次元輸送コード ANISN に適合するように配置するもので、TOTAL COUPLE コードと GROUP INDEPENDENT コードよりなっている。

TOTAL COUPLE コードは、中性子輸送群定数、ガンマ線輸送群定数、2 次ガンマ線生成定数、及び中性子とガンマ線による発熱定数 ( $H_n, H_T$ ) と原子除去断面積 ( $D_n, D_T$ ) を Table 2.6 に示したように配列する。Table 2.6 には中性子群  $i$  ( $1 \leq i \leq N$ ) とガンマ線群  $j$  ( $N+1 \leq j \leq N+G$ ) の場合が示されている。

Table 2.6 のような配列は Material (1 核種の 1 つの  $P_n$  成分を 1 Material と呼ぶ) 每に作成され、核データファイルとして保存される。

GROUP INDEPENDENT コードは、上記のファイルより必要とする核種とその  $P_n$  成分を選択して、Material 每のデータを群毎のデータに再配列して、ANISN での多群計算を容易にするものである。

### 2.8 ANISN-JR

ANISN-JR は ANISN<sup>3)</sup> を FACOM-230/60 用 IC 整備したものであるが、この整備にあたって次の機能を追加した。

- (i) ANISN では、各空間メッシュの中点における全線束が出力されるようになっているが、これを利用者の指定により各メッシュ点ごとに出力する。
- (ii) 利用者の指定により、スカラエネルギースペクトル  $\phi(E)/\Delta E$  を出力する。
- (iii) ANISN では、角度依存線束の出力を指定すると、全空間メッシュ点に対してこれを出力する。したがって出力量が空間メッシュ点の数および角度分点のによってかなりの量となる。この出力量を減らすため、利用者が指定した空間メッシュ点（最大 10 点）に対してのみ角度依存線束を出力するようにした。なお空間点を指定しなければ、従来通りの出力を行なう。

Table 2.5 Energy release from fission of  
 $^{235}\text{U}$  (24)

$h_f$	Light fragment	$99.8 \pm 1 \text{ MeV}$
	Heavy fragment	$68.4 \pm 0.7$
$h_\beta$	$\beta$ -decay of F.P.	7.8
	Fission neutron	4.8
$h_\gamma$	Prompt gamma	$7.5, 8.5 18^{(2)}$
	Delayed gamma	$6.8, 6.6 50^{(2)}$

Table 2.6 Arrangement of group constants  
for neutron and gamma ray.

Position	$1 \leq i \text{ Group} \leq N, \dots$	$N+1 \leq j \text{ Group} \leq N+G$
	$D_n(i)$	$D_\gamma(j)$
	$H_n(i)$	$H_\gamma(j)$
	$\Sigma_a(i)$	$\Sigma_a(j)$
IHT-1	$\nu \Sigma_t(i)$	0
IHT	$\Sigma_t(i)$	$\Sigma_t(j)$
IHS	$\Sigma_{nn}(i \rightarrow i)$	$\Sigma_{\gamma\gamma}(j \rightarrow j)$
IHS+1	$\Sigma_{nn}(i-1 \rightarrow i)$	$\Sigma_{\gamma\gamma}(j-1 \rightarrow j)$
	$\vdots$	$\vdots$
	$\Sigma_{nn}(1 \rightarrow i)$	$\Sigma_{\gamma\gamma}(N+1 \rightarrow j)$
	0	$\Sigma_{n\gamma}(N \rightarrow j)$
		$\Sigma_{n\gamma}(N-1 \rightarrow j)$
		$\vdots$
		$\Sigma_{n\gamma}(1 \rightarrow j)$
		0
		$\vdots$
IHM	0	0

(iv) 中性子およびガンマ線による発熱量の詳しい情報、すなわち各空度点毎あるいは各領域毎の各核種別毎の発熱量の出力を行なう。なお発熱計算は放射化量と同様な扱いで計算される。

(v) 中性子束およびガンマ線束分布を測定値と直接比較するために、各線束に対する計測器の反応群定数を入力して、線量率分布を計算できるようにした。前項(iv)のように全発熱量が得られるから、適当な換算により中性子束およびガンマ線の線量を絶対値でより正確に計算できるようになった。

これらの出力機能を付加するため追加したサブルーチンは NWSUB 1 , NWSUB 2 , NWSUB 3 , ACTPRT , WOTYT , ERRMSG の 6つである。

## 2.9 DOT-2 と TWOTRAN

2次元体系での SN による輸送計算は DOT-2<sup>4)</sup> あるいは TWOTRAN-GG<sup>5)</sup> によって行なう。少数群の中性子・ガンマ線輸送定数は、前節の ANISN-JR によって、適当な領域毎に縮約して作成する。縮約は、各領域および各少数群内で反応度が保存するようにして行なわれる。

DOT-2の場合、ANISN-JR で作成された ANISN 形式の少数群定数がそのまま使用できる。体系の形状や他の入力は同じであるが、ANISN-JR と同様に、中性子およびガンマ線による発熱を処理するための、中性子群数とガンマ線群を区切る指數の入力とその処理ルーチンが変更された。また中性子およびガンマ線の線量計算のための計測器の反応断面積は、ANISN-JR で輸送定数の縮約を行う際に、同様に縮約できるようにした。ただし DOT-2 での計算時間は TWOTRAN-GG より約 2 倍長くかかるので普通の場合 TWO-TRAN-GG を使用することをすすめたい。

TWOTRAN-GG の場合、ANISN-JR で縮約された輸送定数はそのまま使えない。TWOTRAN-GG に適合する定数を作成する TRANS がつくられた。TRANS は(1)定数の Position の変更、(2)ルジャンドル関数の係数の変更( $P_l$ 成分を  $2l+1$  で割る)および(3) Outer Iteration で coarse-mesh rebalance が使えるように、群定数における粒子の発生と損失(吸収と全群への減速)とをつり合わせる仮想的な  $\sigma_{n,z_n}$  を入力することの 3 点を行う。他の中性子及びガンマ線の発熱と線量の処理は DOT-2 で述べた事と同様に行なわれるようとした。

### 3. 入力形式

#### 3.1 核データ・ファイル作成コード入力形式

核データファイルを作成するための入力データはコントロール・カード、タイトル・カード、THERMOS-JRルーチン以外は、すべてFIDOフォーマットで入力する。なお、FIDOフォーマットの詳細についてはAPPENDIX-Aを参照されたい。入力データの説明において〔〕内の数字は入力すべきデータの個数、〔〕内の記述はそのデータ配列を入力すべき条件を示す。条件が明示されていない配列は必ず入力する。

##### 3.1.1 コントロール・カード FORMAT(316)

1. NUC : 計算する核種の数、NUC=0のときはANISN用ライプラリテープのみが作成され、以下にデータ項目3.1.10を入力する。
2. LIB : =0, ANISN用ライプラリ・テープを作成しない。  
=1, ANISN用ライプラリ・テープを作成する。
3. ITMAX : 実行打切り時間、(分単位で入力)、ITMAX=0とすると無視される。  
以下、3.1.2から3.1.9のデータをNUC回繰り返して入力する。

##### 3.1.2 タイトル・カード FORMAT(18A4)

計算する核種の識別文字を1カラムから8カラムに入力する。タイトルカードの内容は各ルーチンの計算の始めに印刷されるとともに、核データ、ファイルでの識別にも用いられる。

##### 3.1.3 オプションカード (Fig. 2.2 参照)

###### 1 ¥ [10]

1. IOPT0 := 0, 中性子群、ガンマ群のエネルギー構造を入力しない。  
= 1, 中性子群、ガンマ群のエネルギー構造を入力する,  
このオプションは同じエネルギー構造で多核種を計算するとき最初のみ  
IOPT0=1を入力し、その後の核種ではIOPT0=0を入力すればよい。
2. IOPT1 := 0, THERMOS-JRの計算を実行しない。  
= 1, THERMOS-JRを実行する,
3. IOPT2 := 0, SUPERTOG-V3-JR を実行しない。  
= 1, SUPERTOG-V3-JR を実行する,
4. IOPT3 := 0, POPOP4-JRを実行しない。  
= 1, POPOP4-JRを実行する,
5. IOPT4 := 0, GAMLEG-JR を実行しない。  
= 1, GAMLEG-JR を実行する,
6. IOPT5 := 0, NEHEATを実行しない。  
= 1, NEHEATを実行する,

7. I O P T 6 : = 0, TOTAL COUPLE を実行しない。  
= 1, TOTAL COUPLE を実行する。

8. I N G : 中性子エネルギー群の数, ( $\leq 100$ ),

9. I G G : ガンマ線エネルギー群の数, ( $\leq 50$ ),

10. I P O : 弹性散乱のための  $P_N$  近似の数。

T (オペレータ T を入力する)。

2\* 中性子エネルギー構造, エネルギーの高い方から低い方へと入力する, [ I N G + 1 ],  
{ I O P T 0 = 1 }, (単位: eV)。

3\* ガンマ群エネルギー構造, エネルギーの高い方から低い方へと入力する, [ I G G + 1 ],  
{ I O P T 0 = 1 }, (単位: eV)。

T (オペレータ T を入力する)。

### 3.1.4 THERMOS-JR { I P O T 1 = 1 }

a) オプション・カード FORMAT (216)

1. M A T : 計算する核種の THERMOS-JR ライブライ・テープでの第 1 指標。

2. K F Y : = 0, 热群断面積を計算する,

= 1, 热群断面積を新たに計算せず前のケースで計算した热群断面積の中から第 1 指標が M A T である核種を選ぶ。

b) 热群データ FORMAT は THERMOS-MUG 2 と同じ。

K E Y = 0 のときは THERMOS-MUG 2 と同様のデータを入力する。K E Y = 1 のときはこのデータは入力する必要はない。データの入力形式は参考文献(9)を参照のこと。

### 3.1.5 SUPERTOG-V3-JR { I O P T 2 = 1 }

4 ¥ [ 4 ]

1. I N A L L : 入力データのオプション

= 0, 4 ¥, 5 \* 配列のみ入力する,

= 1, すべてのデータ (4 ¥ ~ 8 \*) を入力する。

2. M A T N O : 計算する核種の ENDF/B データと同じ物質番号。

3. I R E W : = 0, ENDF/B テープの巻戻しをしない,

= 1, ENDF/B テープの巻戻しをする。

4. N O 4 0 : 弹性散乱マトリックスにおける (I N G + 1 ) 群の取扱い,

= 0, (I N G → I N G + 1 ) の値を計算する (従来の SUPERTOG での処理と同じ),

= 1, (I N G → I N G + 1 ) の値を (I N G → I N G ) の値に加える。

コードシステムとして用いるときは, N O 4 0 = 1 とする。

5 ¥ [ 4 ]

1. S I G P : 吸収原子当りの非共鳴同位元素のポテンシャル散乱断面積,

$$S \cdot I \cdot G \cdot P = \frac{\Sigma_p}{N} - 4\pi R^2 \quad (3.1)$$

$\Sigma_p$  : 巨視的全ポテンシャル散乱断面積,

N : 吸収原子数密度,

$4\pi R^2$  : 吸収原子のポテンシャル散乱断面積.

なお、無限希釈の場合は  $S \cdot I \cdot G \cdot P = 10^8$  を入力する。

2. A J I N : 非分離の共鳴計算に対する J の入力値,

3. R E A C T : r-factor (G A Mデータの修正)。

4. S F A C T : s-factor (G A Mデータの修正)。

T (オペレータTを入力する)。

6 Y [14] { INALL = 1 }

1. I D T A P : ENDF/B テープの識別番号。

2. M O D E : = 1, ENDF/B テープの形状がバイナリモードである,  
= 2, B C D モードである。

3. M C O D E : G A M形式の出力に対するオプション,

= 1, G A M-I 形式で出力,

= 2, G A M-II 形式で出力,

MCODE=1 のときは、弾性散乱マトリックスは  $P_1$  が用いられる。したがって、コード・システムとして用いるときは MCODE=2 とする。

4. I W : Weighting 関数のオプション,

= 1,  $1/E$ ,

= 2, 1.0,

= 3, 入力データで指定,

= 4, 核分裂スペクトルおよび  $1/E$ ,

= 5, 解析的な  $1/E$ 。

5. N 1 : 入力する Weighting 関数。内挿範囲の数, I W ≠ 3 のときは N 1 = 0 を入力する。

6. N 2 : 入力する Weighting 関数のエネルギーポイントの数, I W ≠ 3 のときは N 2 = 0 を入力する。

7. I S P E C : SUPERTOG-V3-JR の計算のオプション,

= 0, 群定数の作成,

= 1, スペクトル計算,

コードシステムとして用いるときは ISPEC=0 とする。

8. I R E S : 分離共鳴-領域での共鳴データの取扱い,

= 0, 低いエネルギーにおける分離共鳴-領域の共鳴データだけが smooth 断面積に加えられる,

= 1, すべての分離共鳴-領域の共鳴データが無限希釈断面積として smooth 断面積に加えられる。

9. I P U N : = 0, 群定数を出力しない,  
                   = 1, 群定数をG A M形式(カード)で出力する,  
                   = 2, 群定数をA N I S N形式で出力する,  
                   = 3, 群定数をG A M, A N I S N形式の両方で出力する,  
                   コードシステムとして用いるときはI P U N = 2とする。G A M形式の場合は  
                   カードが出力されるが、A N I S N形式の場合は何も出力されない。
10. L I N K 1 : S U P E R T O G - V 3 - J R の計算に関するオプション,  
                   = 0, 共鳴計算を行なわない,  
                   = 1, 共鳴計算を行なう,
11. L I N K 2 : = 0, s m o o t h 断面積の計算を行なわない,  
                   = 1, s m o o t h 断面積の計算を行なう。
12. L I N K 3 : = 0, 弹性散乱の計算を行なわない,  
                   = 1, 弹性散乱の計算を行なう。
13. L I N K 4 : = 0, 非弹性散乱の計算を行なわない,  
                   = 1, 非弹性散乱の計算を行なう。
14. L I N K 5 : = 0, (n, 2 n) 散乱の計算を行なわない,  
                   = 1, (n, 2 n) 散乱の計算を行なう。
15. L I N K 6 : ブランク(照射損傷については別報)。  
                   T (オペレータTを入力する)。

7 \* 入力するWeighting関数の内挿テーブル, [2\*N1], {IW=3}, 内挿範囲  
       および内挿方法を交互に入力する。

内挿範囲の指定は、その区間の上限エネルギーに対応するエネルギー分割点の値で行なう。

内挿方法の指定はENDF/Bデータでの形式と等しく、xをエネルギー、yをそのエネルギーでのWeightとすると、次のように示される。

内挿方法	内 容
1	yは一定(内挿範囲での下限値の値)である
2	yはxに比例する
3	yはlog xに比例する
4	log yはxに比例する
5	log yはlog xに比例する

8 \* 入力するWeighting関数, [2\*N2], {IW=3}, エネルギポイントとその  
       点におけるweightを交互に入力する。エネルギーポイントは、低いエネルギーから高いエ  
       ネルギへとeV単位で入力する。

T (オペレータTを入力する)。

## 3.1.6 POPOP4-JR { IOPT3 = 1 }

9 ¥ [ 4 ]

1. NMATLS : 計算する核種の核反応。
2. NFLT : POPOP4 ライブライ・テープから入力する反応の数、残りの核反応 (NMATLS-NFLT) はカードにより入力する。
3. LOOK : = 0, 必要な情報のみ印刷する,  
= 1, 詳細なチェック項目も印刷する。
4. M U T T : 各核反応のガンマ線生成断面積を合計した断面積の出力,  
= 0, 出力しない,  
= -1, 出力する(印刷のみ)(NMATLS  $\leq 10$ ),  
= 1, 出力する(NMATLS  $\leq 10$ )。

コードシステムとして用いるときは、M U T T = 1 とする。ただし、M U T T = 1 としてもカードは出力されない。

T (オペレータ T を入力する)。

10 ¥ POPOP4 ライブライより入力する反応の識別番号 (NFLT), { NFLT &gt; 0 }

識別番号は 6 桁の整数で表わされ、次のような意味を持つ。

最初の 2 桁	核種の原子番号
3 桁 目	核種の質量数の下 1 桁
4 桁 目	Table 2.1 の核反応の I.D. 番号
5, 6 桁 目	データの識別

たとえば、928101はU-238の(n; r)nonfission反応である。

負の識別番号を入力した場合はライブライ・テープ上のデータ IPUNO が変更される。(参考文献(6), (13)を参照)

T (オペレータ T を入力する)。

反応のデータをカードより入力する場合は、SECTION F および SECTION G データをこれ以降に入力する(参考文献(6), (13)を参照)。

反応のデータをライブライ・テープより入力する場合は、SECTION G データは SUPERTOG-V3-JR で計算されるので入力する必要はない。

## 3.1.7 GANLEG-JR { IOPT4 = 1 }

17 ¥ (10)

1. I Z : 計算する核種の数、コードシステムとして用いるときは I Z = 1 とする。
2. N : エネルギ区間内の積分分点の数。
3. KON : weight の指定;  
= -1, INPUT flux により weighting を行なう,  
= 0, weighting を行なわない,  
= 1, source weighting を行なう。

4. I C A L : = 0, 光電効果、電子対生成、コヒーレント散乱断面積をカードにより入力する。

= 1, 上記各断面積を GAMLEG-JRで計算する。

ガンマ線発熱定数の計算を行なうには、I C A L = 1 としなければならない。  
したがって、コード・システムとして用いるときには I C A L = 1 とする。

5. I S : Input source の数。

6. I F : Input flux の数, K O N = -1 のときは I F = 0 とする。

7. I A : 入力する吸収断面積の数, I C A L = 1 のときは I A = 0 とする。

8. I C : 入力するコヒーレント散乱断面積の数,  
I C A L = 1 のときは I C = 0 とする。

9. I P R T 0 : = 0, 吸収、散乱断面積を印刷しない,  
= 1, 吸収、散乱断面積を印刷する。

10. I P R T 1 : = 0, ガンマ線発熱定数を印刷しない,  
= 1, ガンマ線発熱定数を印刷する。

T (オペレータTを入力する)。

1 8 \* 計算する核種の原子番号, [ I Z ],

1 9 \* input source のエネルギー・ポイント, [ I S ]

高いエネルギーから低いエネルギーへと MeV 単位で入力する。

2 0 \* Input source の値を 1 9 \* 配列の順序に対応して入力する。[ I S ]

T (オペレータTを入力する)。

2 1 \* Input flux のエネルギー・ポイント, [ I F ], { K O N = -1 }。

2 2 \* input flux の値, [ I F ], { K O N = -1 }, ( input flux の入力の方  
法は input source に同じ, 次の断面積の入力についても同様),

T (オペレータTを入力する)。

2 3 \* 入力する光電効果、電子対生成断面積のエネルギー・ポイント, [ I A ], { I A > 0 }。

2 4 \* 光電効果断面積の値, [ I A ], { I A > 0 }。

2 5 \* 電子対生成断面積の値, [ I A ], { I A > 0 }。

T (オペレータTを入力する)。

2 6 \* 入力するコヒーレント散乱断面積のエネルギー・ポイント, [ I C ], { I C > 0 }。

2 7 \* コヒーレント散乱断面積の値, [ I C ], { I C > 0 },

T (オペレータTを入力する)。

### 3.1.8 NEHEAT { IOPT5 = 1 }

2 8 \* [ 4 ]

1. A M A L : 計算する核種の質量数, (<sup>12</sup>C - 単位)。

2. A M A N P : (n, p) 反応の残留核の質量数, (<sup>12</sup>C - 単位)。

3. A M A N A : (n,  $\alpha$ ) 反応の残留核の質量数, (<sup>12</sup>C - 単位)。

4. H F B : 1 分裂当たり放出される分裂片のエネルギー, (MeV)。

T (オペレータ Tを入力する)。

### 3.1.9 TOTAL COUPLE { IOPT 6 = 1 }

29￥ [3]

1. N P U N : = 0, 核データ・ファイルをディスクに出力する,  
= 1, 核データ・ファイルをカードに出力する,  
ディスクに出力する場合のファイルの機番は F 1 5 ~ F 3 9 まで, 各核種毎に  
逐次加算されて用いられる。
2. I P O : 出力に関するオプション,  
= 0, 印刷のみ行なり,  
= 1, 印刷およびディスク(カード)に出力する,  
= 2, ディスク(カード)に出力する。
3. NOACT : 放射化断面積の数, 発熱定数を放射化断面積として取扱っているので  
NOACT = 1 とする。

T (オペレータ Tを入力する)。

### 3.1.10 GROUP INDEPENDENT { LIB = 1 }

30￥ [6]

1. I N G : 中性子エネルギー群の数。
2. I G G : ガンマ線エネルギー群の数。
3. I P O : 弹性散乱の  $P_N$  近似の次数。
4. M T L : ANISN用ライプラリ・テープに収容する核種の数。
5. I P G : 断面積を印刷する群の数。
6. NOACT : 放射化断面積の数。

T (オペレータ Tを入力する)。

31￥ 各核種のデータ・ファイルの機器, [ M T L ]

ディスク・パックに保存されている核種のデータを用いるときは, F 1 5 ~ F 3 9 の  
機種のうち使用されていないファイルの機種を入力し, それに対応する J O B 制御文  
を入力する必要がある。入力する機番の順番は, ライプラリ・テープに収容する順序  
に従って入力する。

T (オペレータ Tを入力する)。

32￥ 断面積を印刷する群を昇順で入力する, [ I P G ], [ I P G > 0 ],

T (オペレータ Tを入力する)。

## 3.2 輸送・発熱計算のための入力形式

### 3.2.1 ANISN-JR 入力形式

ANISN-JR コードでは, 2.8 節でも述べたように, 計算結果の出力形式が若干変更され  
ている部分がある。したがって, ANISN原典<sup>3)</sup>に示される入力データの前に以下に述べるテ

ータを追加しなければならない。この入力データはANISN-JR をシステムとしてではなく、  
単独に使用する場合も必要である。

## CARD A FORMAT(15)

I ANISN : 磁気テープから入力する断面積のデータ構造を指定する。

= 0, テープには

WRITE(1) ((CRXX(IH,M,1), IH=1, IHP), M=1,  
MTP) の形式で書かれている(原典と同じ),

= 1, テープには

DO 3335 M=1, MTP

3335 WRITE(1)(CRXX(IH,M,1), IH=1, IHP) の形式  
で書かれている。

なお,

$$IHP = \begin{cases} IHM, & IF(IHS - IHT - 1) \leq 0, \\ IHM + 1, & IF(IHS - IHT - 1) > 0, \end{cases}$$

IHM = 断面積テーブルの長さ,

IHS =  $\sigma_{g \rightarrow g}$  の位置,

IHT =  $\sigma_{\text{total}}$  の位置,

MTP = 磁気テープから読む断面積セットの数,

である。

## CARD B FORMAT(615)

IIBOUD : = 1, total flux を空間メッシュの中点でなくメッシュ点毎にプリントす  
る,

= 0, total flux を空間メッシュの中点毎にプリントする(すなわち, 従来  
の通りである)。

IIISPTM : = 1, スペクトル = (total flux) /  $4E_g$  をプリントする。 $4E_g$  は群 g のエ  
ネルギ幅である。CARD C, D(後述)を必要とする。

= 0, スペクトルをプリントしない(すなわち, 従来の通りである)。

IIIANLL : = 1, angular flux をすべての空間メッシュ点でなく CARD E, F  
(後述)で指定した空間メッシュ点についてのみプリントする。

= 0, angular flux をすべての空間メッシュ点でプリントする(すなわち,  
従来の通りである)。

IGMNEW : 全エネルギー群数, すなわち, IGM と同じ整数値である。

IGMNEU : IGMNEW(=IGM) のうち中性子の占めるエネルギー群数。したがって,  
IGMNEW - IGMNEU がガンマ線の占めるエネルギー群数である。

NACTPR : = 1, activity に関する詳しい情報をプリントする。

activity を H とすると, H(I, J, K), H(I', J, K) をプリントする。

I = メッシュ ( 空間座標 ),  
J = エネルギ群,  
K = activity number,  
I' = 領域,  
= 0 , プリントしない ( すなわち, 従来の通りである ) 。

## CARD C FORMAT ( I 5 )

NOYGRE : エネルギ群数, IGM + 1 , { IISPTM = 1 } .

## CARD D FORMAT ( 8E10.5 )

YGRENE(I) : エネルギ, 高い方から入れる ( I = 1 , NOYGRE ),  
 $\Delta E_g$  を求めるために使う, { IISPTM = 1 } .

## CARD E FORMAT ( I 5 )

NOANNO : angular flux をプリントすべきことを指定したメッシュ点の総数 ( $\leq 10$  ),  
{ IIANLL = 1 } .

## CARD F FORMAT ( 10I5 )

NOANL1(I) : プリントすべきことを指定したメッシュ点, ( I = 1 , NOANNO ).  
{ IIANLL = 1 } .

## CARD G FORMAT ( I 5 )

NOGAMF : ガンマ線のエネルギー群数, (= IGMNEW - IGMNEU  $\leq 20$  ) .

## CARD H FORMAT ( 8E10.5 )

FCONVND : ガンマ線に関する量をレントゲン単位に変換する変換係数 ( I = 1 ,  
NOGAMF ).

CARD G , H は IGMNEW > IGMNEU のとき必要である。

以上の入力データの後に ANISN の入力データ<sup>3)</sup> を続ける。

## 3.2.2 DOT-2, TWOTRAN-GG の入力形式

現在の所, 2次元計算は TWOTRAN-GGの方が計算時間の点から実用的であるので,  
TRANS および TWOTRAN-GG の変更点のみを記しておく。

TRANS : 独立したプログラム。ANISN形式の輸送群定数を TWOTRAN-GG形式に変換する。入力は核種の数,  $P_1$  の 1 を最初のカードに 215 で入力し, 以下核種毎にタイトルカードと核データを繰り返す。カードで出力する。

TWOTRAN-GG : 参考文献(5)の入力の変更点は,

- (1) 1枚目の Integer Controlカードで, 12番目のデータ ISTART の次

にて、13番目のデータとして中性子群数(NENM)を入力する。

(2) 熱出力と検出器による線量を計算するためには、3枚目の Integer Control カードの4番目のデータ IEDOPT を負にする。

(3) 検出器の反応断面積は一番最後に、ANISN-JR で出力したカードそのまま入力する。検出器の数(種類数)は任意で、入力したデータの数だけ計算する。1データはタイトルカード1枚と全群数(IGM)個の反応断面積を 5 E 1 2.4 で入れたカードよりなる。たとえば、ガンマ線検出器の場合、中性子群に等しい数の0の次にガンマ線群数に対応する断面積を入力する。

### 3.3 制御条件

#### 3.3.1 核データ・ファイル作成コード

- (1) 計算する核種の数, NUC  $\leq 25$ ,
- (2) 中性子エネルギー群, ING  $\leq 100$ ,
- (3) ガンマ線エネルギー群, IGG  $\leq 50$ ,
- (4) ANISN用ライブラリテープに収容する核種の数, MTL  $\leq 25$ ,
- (5) TOTAL COUPLE ルーチンでのデータ領域の制限,  

$$(NG + NOACT + 3) * NG + ING * IGG * NP + (ING + 3) * ING * NP + (IGG + 3) * IGG * NP + NG * NOACT + 13 \leq 50,010,$$
- (6) GROUP INDEPENDENT ルーチンでのデータ領域の制限  

$$(NG + NOACT + 3) * NG * NP + IPG + MTL + 12 \leq 50,008,$$
  
 ただし, NG = ING + IGG, NP = IPO + 1

#### 3.3.2 輸送・発熱計算コード

- (1) a) ANISN-JR のステートメントだけからなるコアサイズはオーバレイ構造にした場合、約 50 kW である。一方 FACOM-230/60 のユーザ領域(1974.4現在)は 199 kW である。したがって ANISN-JR の COMMON BULKBU の取りうる最大容量は 149 kW となる。計算条件によって使用する BULKBU の大きさが大きく変わる。したがって利用者は

$$LIM1 \leq 149,000$$

の範囲内で、BULKBU の大きさを決めるためのメインプログラムを作成しなければならない。ただし LIM1 を変えることのできるプログラムは相対形成プログラム(RB)で、実行形式プログラム(EB)は LIM1 = 149,000 に固定されている。

COMMON/BULKBU/D(1), LIM1, DUMMY (XXXXXX)	
LIM1 = XXXXXX	
CALL ANISN	
STOP	
END	(XXXXXX $\leq 149,000$ )

- b) 角度依存線束の出力指定  $\leq 10$ ,
- c) ガンマ線のエネルギー組数,  $IGMNEW - IGMNEU \leq 20$ , その他の制限条件は ANISN<sup>3)</sup>と同じである。

(2) TWOTRAN-GGの変更によるDIMENSIONの増加は  $2 \times IGM$ で変更前とほとんど変わらない。

### 3.4 ジョブ制御カード

#### 3.4.1 核データファイル作成コード

(1) プログラムの呼出し

EXEC.T RADHEAT, FNAME = J0694.RADHT1, VOL = 000539

(2) 使用するファイル

F01～F04 : スクラッチファイル,  
 F08 : ENDF/B テープ,  
 F09 : THERMOS-JR ライブライテープ,  
 F10 : POPOP4 ライブライテープ,  
 F11～F14 : スクラッチファイル<sup>注1)</sup>,  
 F15～F39 : 核データファイル,  
 F40 : ANISN-JR 用ライブライテープ,

TOTAL COUPLE ルーチンより出力される核データファイルの機番は F15 より各核種毎に1つづつ加算された機番が用いられる。GROUP INDEPENDENT ルーチンにおいてディスクパックに保存してある核データを使用するときは、F15～F39のうち TOTAL COUPLE ルーチンの出力に用いられていない機番を用いる。

(3) プログラムの大きさ

87 kW

(4) 標準計算時間 (39中性子群, 19ガンマ線群, P<sub>3</sub>のCPU時間)

O-16 : 4.40分

Fe : 9.40分

U-235 : 20.0分

U-238 : 55.0分

(5) ジョブ制御カードの例

¥ EXEC.T RADHEAT, FNAME = J0694.RADHT1,

VOL = 000539

¥ DISK F01, TRK = 300

¥ DISK F02, TRK = 300

¥ DISK F03, TRK = 300

¥ DISK F04, TRK = 300

注1) F11は(n, n), (n, r), (r, r)の断面積で, TCUPへの入力となる。

F12はinelastic断面積, 平均エネルギー構造で, NEHEATへの入力となる。



Table 3.1 Job Control Card for ANISN-JR RB Program



## INPUT DATA SHEET

氏名	日付	電話	プログラム名	JOB NO.	PAGE OF										PUNCH 73-80							
					カード色指定										YES □							
所属			研究テーマ番号	IBJOB	編 考										NO □							
				DECKNAME	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	
\$NO					2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\$GJDB					3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
\$FORT					4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
\$LIEDEP					5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
\$O					6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	
\$					7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	
\$					8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	
***	See	Sec.	3. 3. 2.		Main PROGRAM	***	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
\$L694					J0694	ANISNRB, PROGNAME=ANISNMS1, SIMPL=0VRY, RBSPC=300, DIRECT=100																
SGMT					ANSMS																	
SELECT					(ETMAIN, CLEAR, CONTROL, ERROR, NOT, SPIE, ITIME, CLOCK, ADDR, ANISM)																	
SGMT					ANS01, CHN=ANSMS																	
SELECT					(PLSNT, FIBD, TP, ADJNT, S804, S805, S814, W0T8, S966)																	
SGMT					ANS02, CHN=ANSMS																	
SELECT					(GLTS, S807, S810, S821, S824, S833, DT, CELL, S851)																	
SGMT					ANS03, CHN=ANSMS																	
SELECT					(EIMPR, FINPR1, PUNSH, DTFPUN, FILTEX, NWSUB1, NWSUB2, ERRMSG, ACTPRT, W0TYD)																	
SGMT					ANS04, CHN=03																	
SELECT					(BT, SUMMARY, FACTOR, NWSUB3, NWSUB4)																	
SGMT					ANS05, CHN=03																	
SELECT					(CEEMQ, WATE)																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7
6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8
7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

\*73 ~ 75 : DATAID / 76 ~ 80 : SEQUENTIAL NUMBER



Table 3.1 (Continued)

## INPUT DATA SHEET

PAGE OF

氏名 所属	日付 電話	プログラム名 研究テーマ番号	JOB NO. IBJOB DECKNAME	カード色指定								PUNCH 73~80 YES <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9	3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	6	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	7	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	4	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	6	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	7	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

#73~75: DATA 0 / 76~80: SEQUENTIAL NUMBER

なお ANISN-JR のオーバレイ構造については、APPENDIX Cを参照されたい。

## (3) TWOTRAN

TWOTRAN-GGの相対形式プログラムを使用するときのジョブ制御カードは下記の通り。

FORTRANはCOMMON領域の変更のためのMAINプログラムである。

```
*GJOB 8100051, TSUTSUI.T, 446.01
*FORT
*FLIEDFP J0051, TWOTRANG, RBSPC=70
*RUN
*DISK F01
*TAPE F02, J2309, TWOT1, OLD, 001813
*DISK F03
*TAPE F04, J2309, TWOT2, NEW, 001814
*DISK F08
*DISK F09
*DISK F10
*DATA
*JEND
```

---

注2) 核データファイル作成コードで作成された群定数ファイルの登録機番号

#### 4. 入出力例および解析計算

本コード・システムの実際の使用例として、FCA-V3集合体の解析を行ったので、その入出力例と解析計算の結果を示す。

##### 4.1 入出力例

本コード・システムの入出力例をすべて書くことは紙面が許さないから、 $^{235}\text{U}$  の核データ作成のための入力例を Table 4.1 に示す。出力例の概略は Table 4.2 に示す。

たとえば FCA-V3集合体の解析には 11 核種のデータが必要であるが、1 核種づつ Table 4.1, 4.2 に示すように本システムで TOTAL COUPLE まで計算した。散乱角については中性子、ガンマ線共に  $P_5$  までとした。この 66 (=11×6) 個の Material を 1 本のテープに収め、核データ・ファイルとして保存した。このファイル（または、11 個の 1 次ファイル）より GROUP INDEPENDENT により、 $P_1$ ,  $P_2$ , および  $P_5$  までの 3 個の群独立核データ・ファイルをつくった。それぞれの場合について、ANISN-JR により輸送発熱計算を行い比較した。

中性子群数は 39 で、15 MeV から 0.1 MeV までをレーザー幅 0.25 程度に、0.1 MeV から熱エネルギーまでをレーザー幅 0.75 程度に分割した。スペクトルは 1 MeV 以上を核分裂スペクトル、それ以下を 1/E スペクトルとした。詳細は出力例 Table 4.2 を参照されたい。

ガンマ線群数は 19 で、エネルギー組分けは Table 4.2 の通りである。下限の 0.01 MeV (X 線に相当) は光電効果がコンプトン散乱より十分大きくなり、ガンマ線が集積しないよう設定した。重みとするスペクトルは全エネルギーで一定とした。

2 次ガンマ線生成反応として POPOP4-JR で考慮したものは、(i)捕獲反応( $n; \gamma$ )、(ii)非弾性散乱反応( $n; n', \gamma$ ) および、分裂性核種に対する即発と遅発の核分裂ガンマ線反応( $n; \gamma$ )<sub>fission</sub> である。 $^{16}\text{O}$  等においては、( $n; p, \alpha$ ) と ( $n; \alpha, \gamma$ ) も考慮した。

##### 4.2 FCA の V-3 集合体の実験解析

FCA の V-3-B1 集合体と V-3-B4 集合体における実験解析の例<sup>26)</sup> を示す。

B1 集合体と B4 集合体は、Fig. 4.1 と Fig. 4.2 に示すように、炉心部の組成は同じであるが、プランケット部の形状・組成は異っている。各領域の原子数密度は Table 4.3 に示してある。B4 集合体の FDN 90° セクターは同じ厚さで 360° 周りにあると仮定した。

ANISN-JR による 1 次元解析計算には円筒形状が用いられ、高さ方向のバックリングにより臨界調整が行なわれた。2 次元解析は TWOTRAN-GG により有限円筒形状に対し行なわれた<sup>27)</sup> (2 次元解析のための各群定数は、円筒形状及び高さ方向の平板形状での ANISN-JR による縮約により求められた。)

中性子・ガンマ線輸送定数および発熱定数の作製は、前節に示した通りである。中性子群数は 39 群、ガンマ線群数は 19 群で、異方散乱の球関数展開は  $P_3$  までとし、角度の分割は S8 とした。なお、異方散乱については、 $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_5$  の各近似展開で比較を行なったが、

線束の値に 1 % 以上の差は生じなかった。

中性子束分布については、 $^{235}\text{U}$  と  $^{238}\text{U}$  核分裂計数管 (m.f.c) による測定値<sup>28)</sup> と比較した。B 1 集合体における、炉心中央で 1 に規格化した結果が Fig. 4.3 に示されている。

ガンマ線束分布については、熱螢光線量計 (TLD-700,  $^7\text{LiF}$ ) で測定された線量率<sup>29)</sup> が 25Watt 出力時の絶対値 ( $\text{R}/\text{h}$ ) で比較された。B 1 集合体での結果が Fig. 4.4 に示されている。ここで使用した定数は、 $\bar{\nu} = 2.5$ <sup>24)</sup>、分裂毎に放出される全エネルギーは Table. 2.5 のように 196 MeV とした。

中性子およびガンマ線による B 1 集合体の発熱分布は Fig. 4.5 に示されている。発熱は、各空間メッシュ領域内での MeV / (1 分裂中性子) となっている。

B 4 集合体における実験値と計算値との比較も、B 1 集合体と同じ形式で、Fig. 4.6, 4.7 および 4.8 に示されている。

なお、ガンマ線による発熱量は、全発熱量に比較して、B 1 集合体の炉心部で 8.8 %、ブランケット部で 35.6 % となり、B 4 集合体の炉心部で 8.9 %、ブランケット部で 31.3 % となっている。計算結果の評価および検討については参考文献<sup>26)</sup> に示されている。

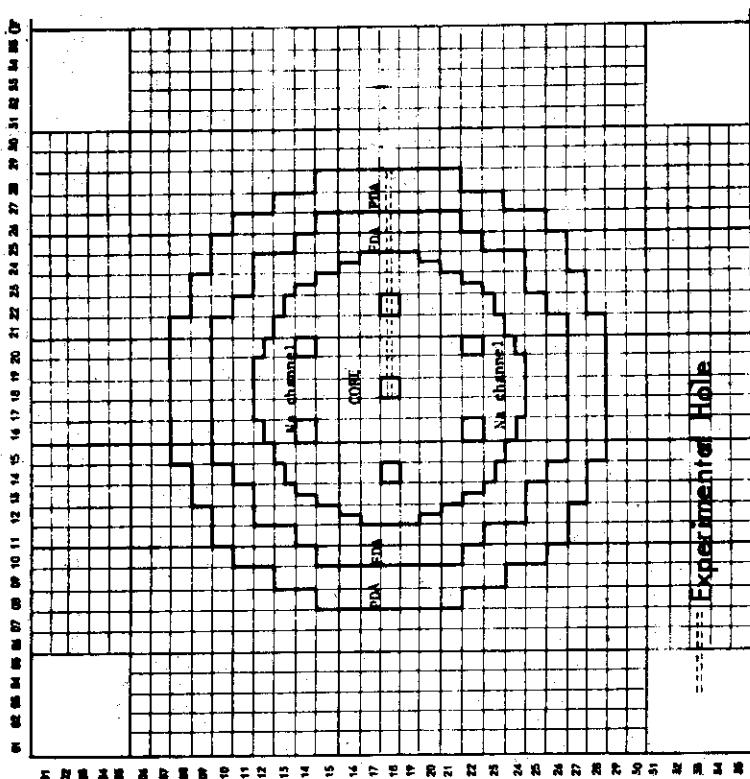


Fig. 4.1 Assembly V-3B1 Loading Pattern

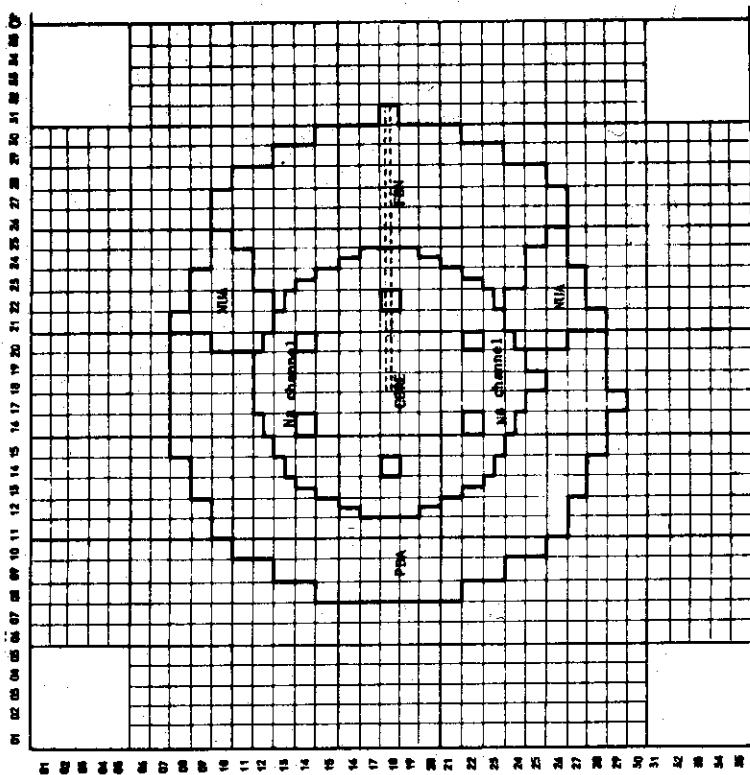


Fig. 4.2 Assembly V-3B4 Loading Pattern

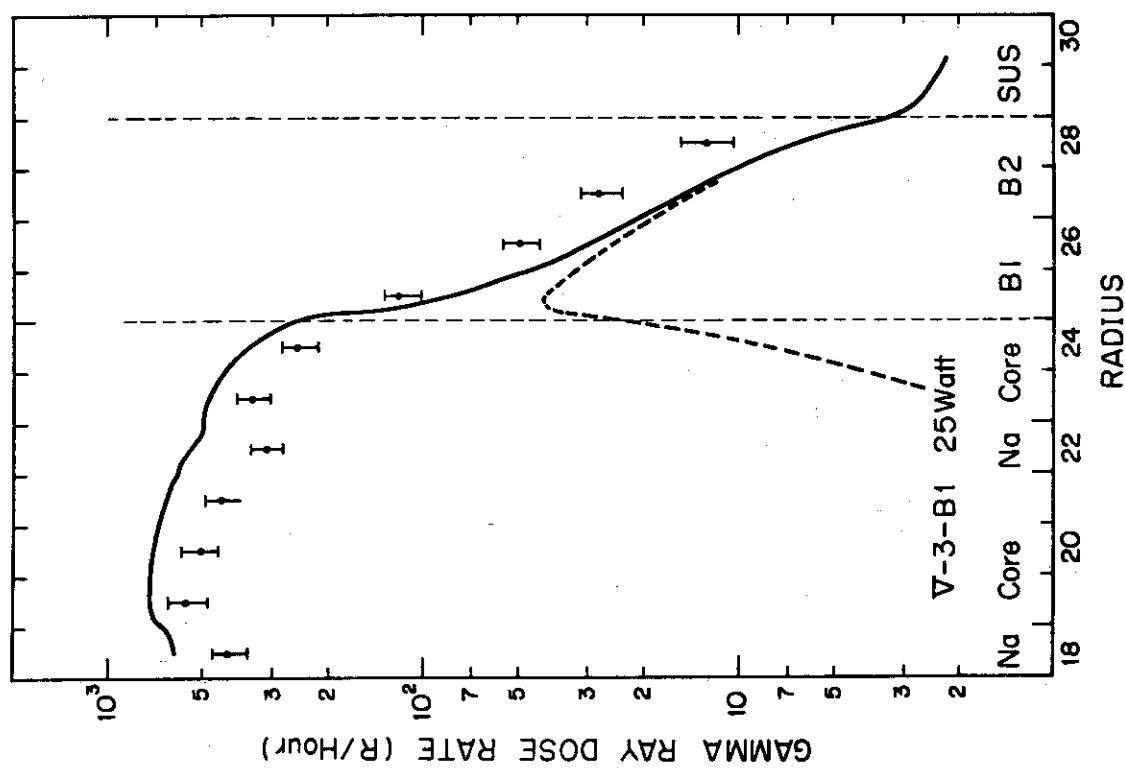


Fig. 4.4 Gamma-Ray Dose Rate Distribution in Assembly B1 at 25 Watt

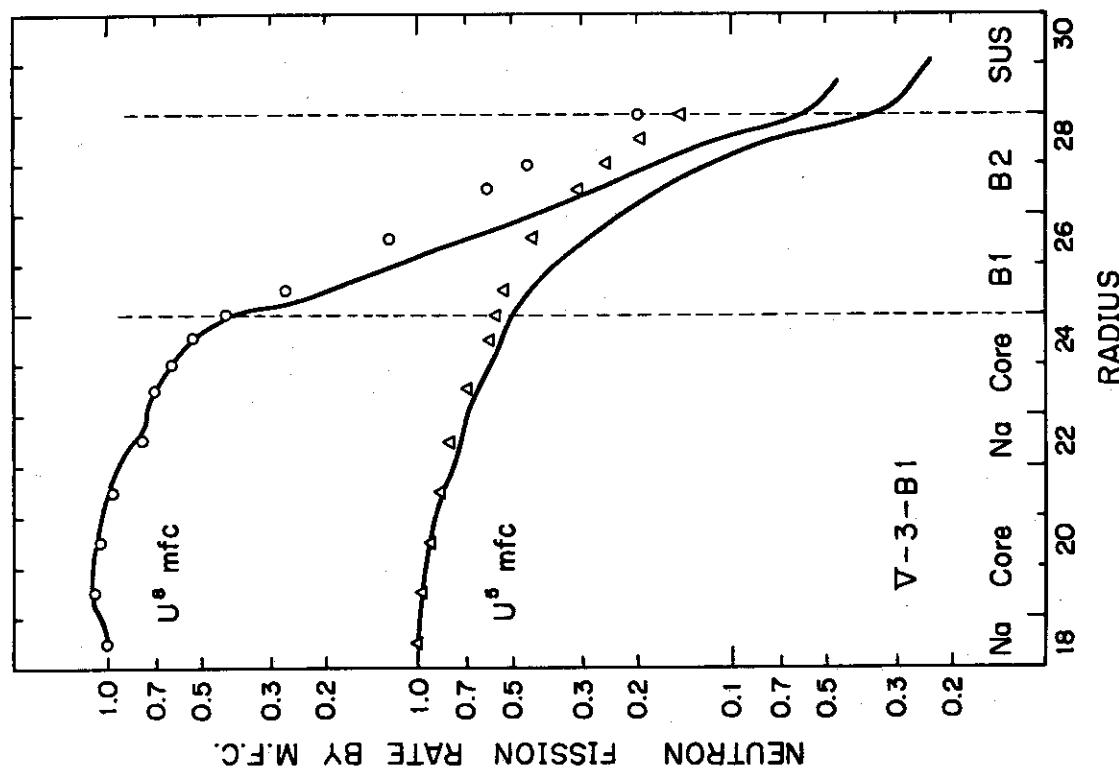


Fig. 4.3 Neutron Fission Rate Distribution in Assembly B1

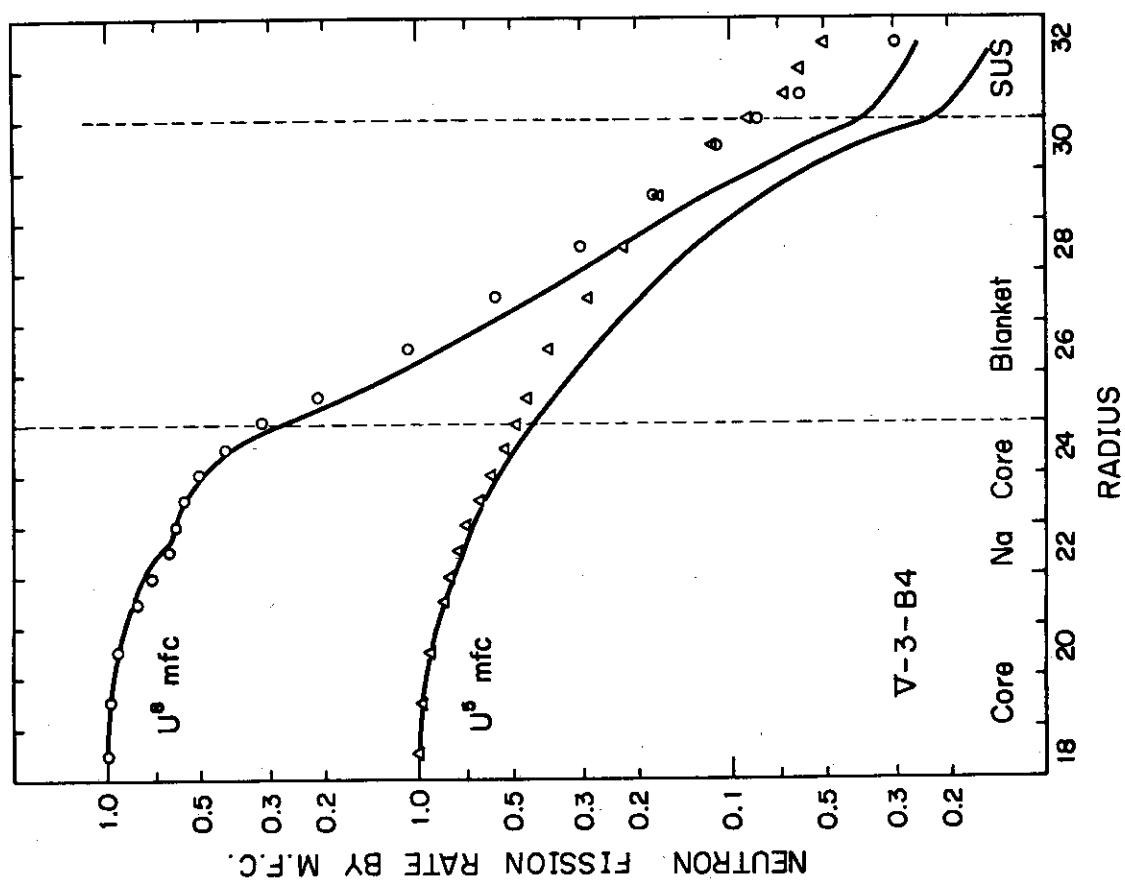


Fig. 4.6 Neutron Fission Rate Distribution in Assembly B4

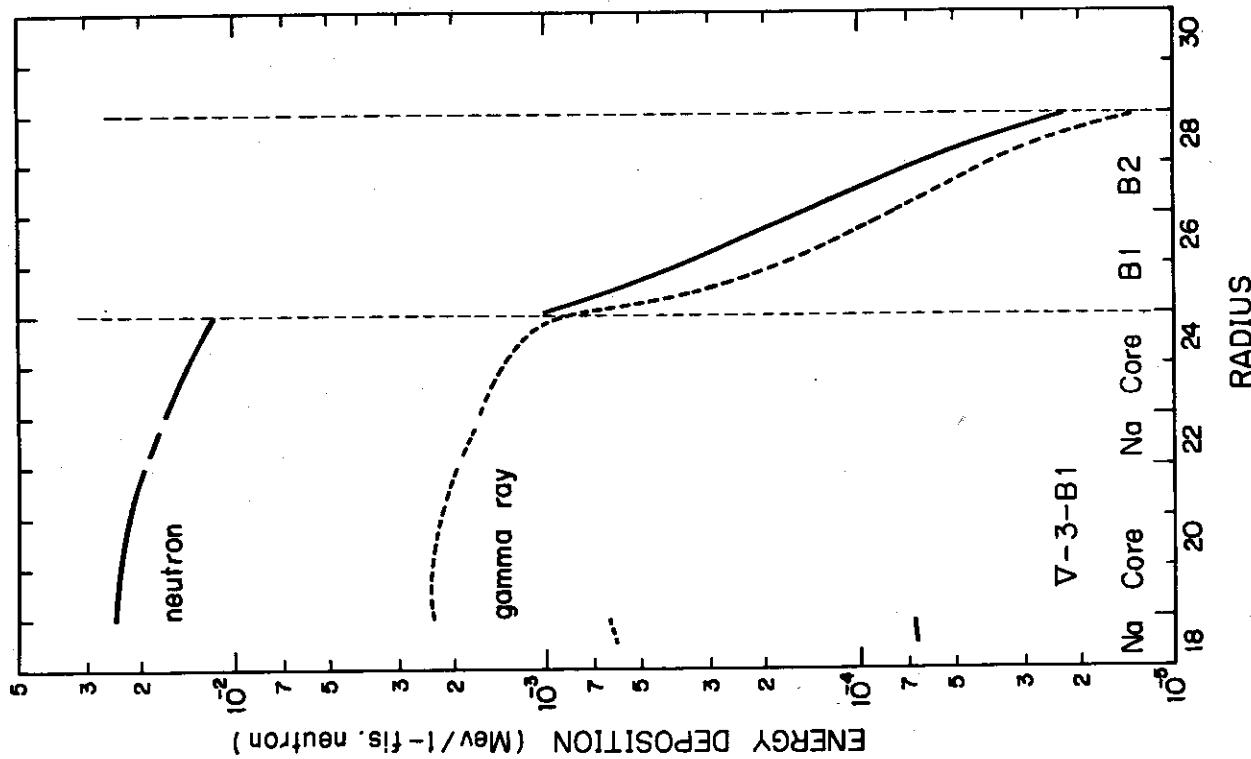


Fig. 4.5 Energy Deposition Distribution in Assembly B1

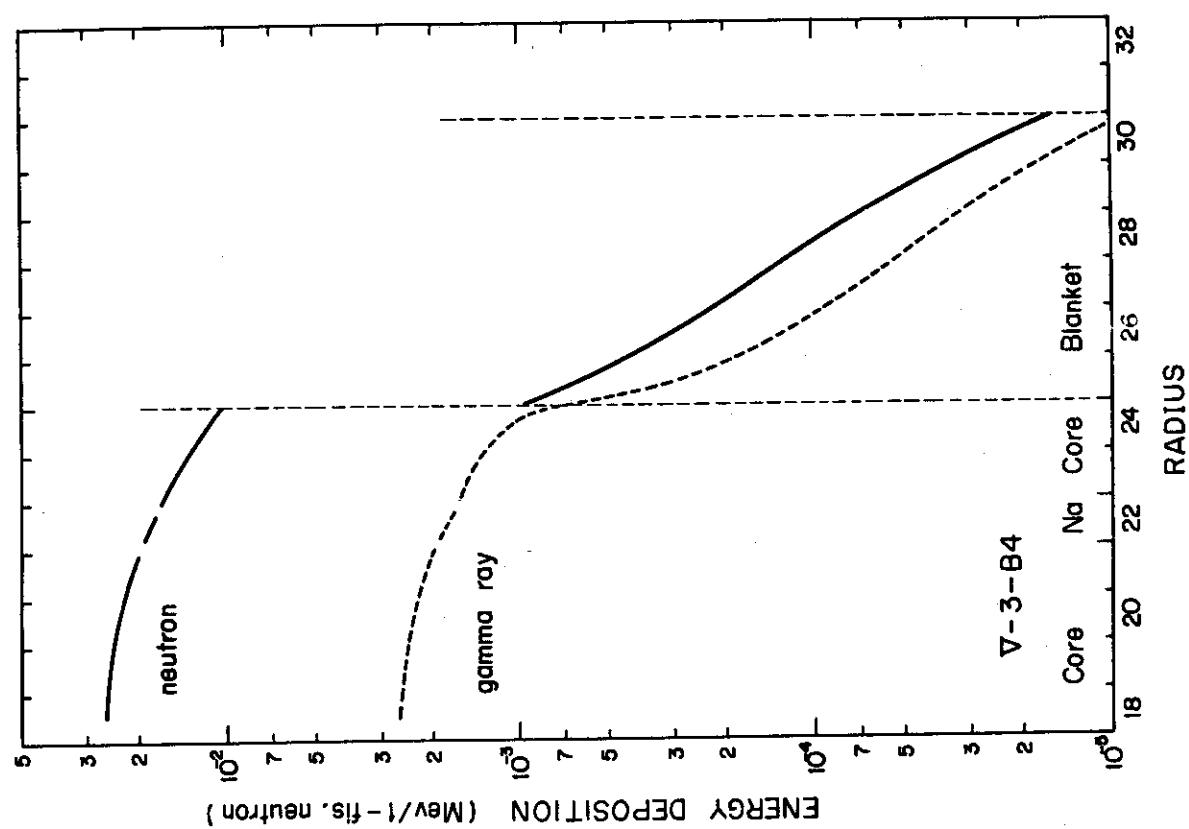


Fig. 4.8 Energy Deposition Distribution in Assembly B4

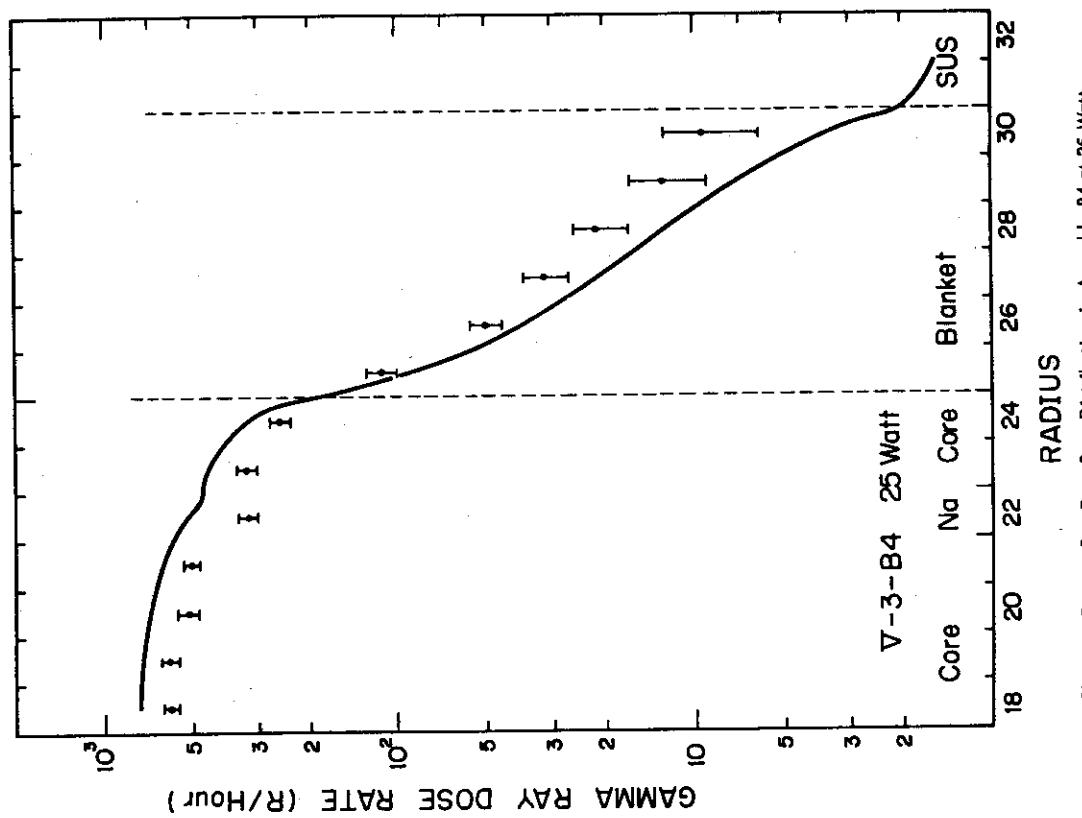


Fig. 4.7 Gamma-Ray Dose Rate Distribution in Assembly B4 at 25 Watt

## JAERI-M 5794

Table 4.1 \*\*\* INPUT FOR SAMPLE PROBLEM \*\*\*

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890							

Control Card 1 0 0

Title Card U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,F5)

Option Card 1\* 7R 1 39 19 5 T

2\*

1.50E07	1.25E07	1.00E07	8.30E06	6.50E06	6.10E06
4.00E06	3.10E06	2.50E06	1.90E06	1.40E06	1.10E06
8.00E05	6.30E05	5.00E05	4.00E05	3.10E05	2.50E05
2.00E05	1.50E05	1.20E05	9.00E04	6.00E04	3.00E04
1.50E04	8.00E03	4.00E03	2.00E03	1.00E03	4.65E02
2.15E02	1.00E02	4.65E01	2.15E01	1.00E01	4.65E00
2.15E00	1.00E00	4.65E-1	1.00E-3		

3\*

1.00E07	9.00E06	8.00E06	7.00E06	6.00E06	5.00E06
	4.00E06	3.00E06	2.00E06	1.20E06	8.00E05
3.00E05	3.00E05	1.50E05	1.00E05	6.00E04	4.00E04
2.50E04	1.50E04	1.00E04			

T

THERMOS-JR 23592 0

1 209 GR UMTK FUEL 1

1 0

15 30 4 5 0 0 0

11111111112334

23592 2 1.4572 -4

23892 2 1.5987 -5

2713 2 1.7607 -2 1.814 -2 5.730 -2

168 2 2.3041 -2 2.274 -2 4.284 -4 3.307 -2

Table 4.1 Input for Sample Problem (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890							
18	12	4.6062	-2	4.548	-2	8.568	-4
4	0						
1	1.0	21.3		4.608	-2	1.1	
2	1.0	21.3		4.548	-2	1.1	
3	1.0	21.3		8.568	-4	1.1	
4	1.0	21.3		6.614	-2		
1	4	1					
1	10	2.975					
2	2	0.355					
3	2	0.48					
4	1	0.05					
1	1	29					
1	2						
0	1						
1111111111111111							
1	1						
SUPERTOG-JR	4*	1	11.57	1	1		
5*		1.0E+8	10.0	0.0	0.0	T	
6*		1	1	2	3	1	
	40	0	1	2.5R	1	T	
7*		40	5				
8*							
1.000E-03	3.940E+07	4.650E-01	2.150E+06	1.000E+00	1.000E+06		
2.150E+00	4.650E+05	4.650E+00	2.150E+05	1.000E+01	1.000E+05		
2.150E+01	4.650E+04	4.650E+01	2.150E+04	1.000E+02	1.000E+04		
2.150E+02	4.650E+03	4.650E+02	2.150E+03	1.000E+03	1.000E+03		

Table 4.1 Input for Sample Problem (continued)

	1	2	3	4	5	6	8
	12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890						
	2.000E+03	5.000E+02	4.000E+03	2.500E+02	8.000E+03	1.250E+02	
	1.500E+04	6.667E+01	3.000E+04	3.333E+01	6.000E+04	1.667E+01	
	9.000E+04	1.111E+01	1.200E+05	8.333E+00	1.500E+05	6.666E+00	
	2.000E+05	5.000E+00	2.500E+05	4.000E+00	3.100E+05	3.226E+00	
	2.000E+05	2.500E+00	5.000E+05	2.000E+00	6.300E+05	1.587E+00	
	8.000E+05	1.250E+00	1.100E+06	4.400E-01	1.400E+06	4.000E-01	
	1.900E+06	3.200E-01	2.500E+06	2.300E-01	3.100E+06	1.600E-01	
	4.000E+06	9.200E-02	5.100E+06	4.200E-02	6.500E+06	1.720E-02	
	8.300E+06	4.840E-03	1.000E+07	1.400E-03	1.250E+07	2.190E-04	
	1.500E+07	8.700E-03					
	T						
POPOP4-JR	9*		3	3	0	1	T
	10*		925101	925301	925801	T	
GAMLEG-JR	17*		1	10	0	1	20
	5R	0	T				
	18*		92.0				
	19*						
	10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	
	4.0	3.0	2.0	1.2	0.8	0.5	
	0.3	0.15	0.1	0.06	0.04	0.025	
	0.015	0.01					
	20*	20K	1.0	1			
NEHEAT	28*		235.1170	0.0	0.0	176.0	T
TOTAL COUPLE	29*		0	1	1	T	

JAERI-M 5794

Table 4.2 Output of Sample Problem

```
001 *INC 6001  
002  
003  
004  
005  
006 KJOGR 9170028,MINAMI,KAZII,449.01  
007 #EXEC,T RADHEAT,FNAME=HADSYS,EB,VOL=A169XE  
008 #DISK F01,TRK=300  
009 #DISK F02,TRK=300  
010 #DISK F03,TRK=300  
011 #DISK F04,TRK=300  
012 #TAPE F04,JUL94,ENDFB3,OLD,000480  
013 #TAPE F09,J2904,GANMAT,OLD,001326  
014 #TAPE F10,J1763,POPBIN,OLD,000315  
015 #DISK F11,TRK=300  
016 #DISK F12,TRK=300  
017 #DISK F13,TRK=300  
018 #DISK F14,TRK=300  
019 #DISK F15,TRK=300  
020 #DATA  
021 #JEND
```

T,4/TIME 30  
W,3/FAGE 240  
C,3/CORF 128  
P,3/PCM 0  
SEASITVT

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), Control.

```
1# ARRAY 10 ENTRIES READ  
T  
2# ARRAY 40 ENTRIES READ  
3# ARRAY 20 ENTRIES READ  
T
```

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), Option.

\*\*\*\*\* PRODUCE THE NUCLEAR DATA FILE  
FOR RADIATION TRANSPORT + HEATING ANALYSIS SYSTEM \*\*\*\*\*  
AT 74-06-07

```
U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)  
  
THERMOS ROUTINE ----- 1      SUPERTCG ROUTINE ----- 1  
POP0% ROUTINE ----- 1      GAMLEG ROUTINE ----- 1  
NEHEAT ROUTINE ----- 1      TCUP ROUTINE ----- 1  
NO. OF NEUTRON GROUPS ----- 39      NO. OF GAMMA GROUPS ----- 19  
ORDER OF SCATTER ----- 5
```

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), THERMOS-JR.

```
*****  
**  
**  
**  
**  
**  
**  
** START **  
**  
**  
**  
**  
**  
** THERMOS  
**  
**  
** U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)  
**  
**  
**  
** ELAPSED TIME 0.0 MIN  
**  
**  
*****
```

(Omitted 13 pages)

JAERI-M 5794

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), THERMOS-JR

THERMOS CASE NO. 1 PAGE 14  
AVERAGES FOR I= 1 TO I=29 V= 0.5000E-01 TO V= 0.5024E 01 E= 0.63250E-04 TO E= 0.63859E 00

MATERIALS USED IN CELL

ISOTOPE	23592-- 2					
POINT REG MIX	SIGMA A	SIGMA F	SIGMA FNU	SIGMA S	SIGMA TR	
CONC 1 1		0.1457E-03				
1 1 1 0.6819E-01	0.5802E-01	0.1410E 00	0.2189E-02	0.7037E-01		
2 1 1 0.6820E-01	0.5804E-01	0.1410E 00	0.2189E-02	0.7038E-01		
3 1 1 0.6823E-01	0.5806E-01	0.1411E 00	0.2189E-02	0.7042E-01		
4 1 1 0.6829E-01	0.5811E-01	0.1412E 00	0.2189E-02	0.7047E-01		
5 1 1 0.6836E-01	0.5817E-01	0.1414E 00	0.2189E-02	0.7054E-01		
6 1 1 0.6846E-01	0.5826E-01	0.1416E 00	0.2189E-02	0.7065E-01		
7 1 1 0.6860E-01	0.5838E-01	0.1419E 00	0.2189E-02	0.7079E-01		
8 1 1 0.6880E-01	0.5859E-01	0.1423E 00	0.2189E-02	0.7098E-01		
9 1 1 0.6909E-01	0.5881E-01	0.1429E 00	0.2189E-02	0.7128E-01		
10 1 1 0.6958E-01	0.5922E-01	0.1439E 00	0.2190E-02	0.7176E-01		
CONC 1 2		0.0				
11 1 2 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12 1 2 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CONC 1 3		0.0				
13 1 3 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14 1 3 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CONC 1 4		0.0				
15 1 4 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
EVENTS 1	0.7834E 00	0.6684E 00	0.1624E 01	0.2507E 01	0.8104E 00	
AVE 1	0.5143E-01	0.4376E-01	0.1063E 00	0.1641E-02	0.5306E-01	
***** MACRO CROSS SECTION *****						
MATERIAL NO.= 23592						
SIGA+SIGF+NUSIGF+SIGSPD+SIGTR+SIGSP1	0.45788635E 03	0.38967133E 03	0.94690132E 03	0.14614721E 02	0.47246014E 03	0.12276365E 00

Compact list is written again after  
the output of SUPERTOG-JR

(Omitted 5 pages)

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), SUPERTOG-JR.

```
*****
*** START ***
*****
SUPERTOG
*****
U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)
*****
ELAPSED TIME 0.55 MIN
*****
****
```

4# ARRAY 4 ENTRIES READ  
 5# ARRAY 4 ENTRIES READ  
 T  
 6# ARRAY 14 ENTRIES READ  
 T  
 7# ARRAY 2 ENTRIES READ  
 8# ARRAY 80 ENTRIES READ  
 T

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), SUPERTOG-JR.

\*\*\* STOG \*\*\*

INPUT DATA

INAME	WATNC	LORDER	IREW	SIGP	AJIN	RFACT	SFACT	
1	1157	5	1	1.0E 08	10.0	0.0	0.0	
IDTAP	MODE	MCCODE	MAXG	IEU	IW	ISPEC	INES	IPUN
1	1	2	39	3	3	0	1	2
LINK1	LINK2	LINK3	LINK4	LINK5				
3.5254E 02	1.5599E 03	4.6263E 03	1.7107E 04	3.8201E 04	6.9045E 04			
1.0930E 05	1.1498E 05	1.6229E 05	1.7874E 05	1.2566E 05	2.2644E 05			
2.3887E 05	2.5109E 05	2.2314E 05	2.5490E 05	2.1512E 05	2.2314E 05			
2.8767E 05	2.2313E 05	2.8766E 05	4.0549E 05	6.9318E 05	6.9313E 05			
6.2862E 05	6.9315E 05	6.9315E 05	6.9315E 05	7.6562E 05	7.7121E 05			
7.6537E 05	7.6562E 05	7.7121E 05	7.6537E 05	7.6562E 05	7.7121E 05			
7.6537E 05	7.6562E 05	1.8241E 04						

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), STOG \*\*\*

```
- - - ENDF/B - - - - - GROUP INFORMATION - - - - -
TAPE NO. MATERIAL NO. CODE MATERIAL NO. NUMBER HIGHEST INELASTIC LOWEST RESONANCE
1 1147 GAM-2 970 39 39 1
```

MULTI GROUP STRUCTURE					
GROUP	ENERGY RANGE	LETHARGY RANGE	GROUP	ENERGY RANGE	LETHARGY RANGE
1	1.2500E 07 - 1.5000E 07	-0.405 - -0.223	21	9.0000E 04 - 1.2000E 05	4.423 - 4.711
2	1.0000E 07 - 1.2500E 07	-0.223 - 0.0	22	6.0000E 04 - 9.0000E 04	4.711 - 5.116
3	8.3300E 06 - 1.0000E 07	0.0 - 0.186	23	3.0000E 04 - 6.0000E 04	5.116 - 5.499
4	6.5000E 06 - 8.3300E 06	0.186 - 0.431	24	1.5000E 04 - 3.0000E 04	5.499 - 6.002
5	5.1000E 06 - 6.5000E 06	0.431 - 0.673	25	8.0000E 04 - 1.5000E 04	6.002 - 7.131
6	4.0000E 06 - 5.1000E 06	0.673 - 0.916	26	4.0000E 03 - 8.0000E 03	7.131 - 7.824
7	3.1000E 06 - 4.0000E 06	0.916 - 1.171	27	2.0000E 03 - 4.0000E 03	7.824 - 8.517
8	2.5000E 06 - 3.1000E 06	1.171 - 1.416	28	1.0000E 03 - 2.0000E 03	8.517 - 9.210
9	1.9000E 06 - 2.5000E 06	1.416 - 1.661	29	4.6500E 02 - 1.0000E 03	9.210 - 9.976
10	1.4000E 06 - 1.9000E 06	1.661 - 1.966	30	2.1500E 02 - 4.6500E 02	9.976 - 10.747
11	1.0000E 06 - 1.4000E 06	1.966 - 2.207	31	1.0000E 02 - 2.1500E 02	10.747 - 11.513
12	8.0000E 05 - 1.0000E 06	2.207 - 2.526	32	4.6500E 01 - 1.0000E 02	11.513 - 12.279
13	6.3300E 05 - 8.0000E 05	2.526 - 2.765	33	2.1500E 01 - 4.6500E 01	12.279 - 13.050
14	5.0000E 05 - 6.3300E 05	2.765 - 2.996	34	1.0000E 01 - 2.1500E 01	13.050 - 13.816
15	4.0000E 05 - 5.0000E 05	2.996 - 3.219	35	4.6500E 00 - 1.0000E 01	13.816 - 14.581
16	3.1000E 05 - 4.0000E 05	3.219 - 3.474	36	2.1500E 00 - 4.6500E 01	14.581 - 15.353
17	2.5000E 05 - 3.1000E 05	3.474 - 3.649	37	1.0000E 00 - 2.1500E 00	15.353 - 16.118
18	2.0000E 05 - 2.5000E 05	3.649 - 3.912	38	4.6500E 00 - 1.0000E 00	16.118 - 16.884
19	1.5000E 05 - 2.0000E 05	3.912 - 4.200	39	1.0000E 00 - 4.6500E 01	16.884 - 23.026
20	1.2000E 05 - 1.5000E 05	4.200 - 4.423			

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), STOG \*\*\*

```
WEIGHTING FUNCTION
IS INPUT AS FOLLOWS
```

ENERGY	WEIGHT	ENERGY	WEIGHT	ENERGY	WEIGHT	ENERGY	WEIGHT
1.0000E-03	3.940E 07	4.6500E 01	2.1500E 06	1.0000E 00	2.1500E 00	4.6500E 05	
4.6500E 00	2.1500E 05	1.0000E 01	1.0000E 05	2.1500E 01	4.6500E 04	2.1500E 04	
1.0000E 02	1.0000E 04	2.1500E 02	4.6500E 03	4.6500E 02	2.1500E 03	1.0000E 03	
2.0000E 03	5.0000E 02	4.0000E 03	2.5000E 02	8.0000E 03	1.2500E 02	1.5000E 04	6.6670E 01
3.0000E 04	3.3330E 01	6.0000E 04	1.6670E 01	9.0000E 04	1.1110E 01	1.2000E 07	8.3330E 00
1.5000E 05	6.6660E 00	2.0000E 05	5.0000E 03	2.5000E 05	4.0000E 00	3.1000E 05	3.2260E 00
4.0000E 05	2.5000E 00	5.0000E 05	2.0000E 00	6.3000E 05	1.5870E 00	8.0000E 05	1.2900E 00
1.0000E 06	4.4000E 01	1.4000E 06	4.0000E 01	1.9000E 06	3.2000E 01	2.5000E 06	2.3000E 01
3.1000E 06	1.6000E 01	4.0000E 06	9.2000E 02	5.1000E 06	4.2000E 02	6.5000E 06	1.7200E 02
8.3000E 06	4.6400E 03	1.0000E 07	1.4000E 03	1.2000E 07	2.1900E 04	1.5000E 07	8.7000E 05

WEIGHTING FUNCTION  
INTERPOLATION TABLE

NBT	JNT	NBT	JNT	NBT	JNT	NBT	JNT
40	5						

(Omitted 4 pages)

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), STOG \*\*\*

MULTI	SMOOTH	ELASTIC	SMOOTH	INELASTIC	SMOOTH	SMOOTH	NEUTRONS	TOTAL	N. GAMMA
GROUP	TOTAL	SCATTERING	CAPTURE	SCATTERING	FISSION	AHSCRFN	PER FISSION	N-2H	MTR102
1	5.7432E 00	3.0776E 00	2.4805E 03	3.3867E 01	2.0463E 00	2.0488E 00	4.3537E 00	2.7811E 01	2.4895E 03
2	5.7640E 00	2.9717E 03	3.4033E 03	4.1040E 01	1.7137E 00	1.7157E 00	1.5830E 00	5.4706E 01	6.0082E 03
3	5.9056E 00	3.1939E 00	6.0082E 03	4.8093E 01	1.7527E 00	1.7547E 00	1.5890E 00	5.7700E 00	3.6033E 03
4	6.5462E 00	3.6300E 00	1.0205E 00	9.9409E 01	1.0228E 00	1.0248E 00	1.0924E 00	3.4014E 00	1.4342E 02
5	7.2825E 00	4.4213E 00	1.4342E 02	1.6428E 00	1.0774E 00	1.0921E 00	3.0142E 00	0.0	1.9327E 02
6	7.7841E 00	4.8726E 00	1.9374E 02	1.8674E 00	1.1776E 00	1.1776E 00	2.8316E 00	0.0	2.5935E 02
7	7.9252E 00	4.9329E 00	2.0350E 02	1.9174E 00	1.1517E 00	1.1517E 00	2.7911E 00	0.0	3.4393E 02
8	7.6660E 00	4.5939E 00	3.4935E 02	1.7837E 00	1.2485E 00	1.2485E 00	2.6607E 00	0.0	4.5669E 02
9	7.1730E 00	4.0774E 00	3.6690E 02	1.7471E 00	1.3079E 00	1.3079E 00	2.2954E 00	0.0	6.1383E 02
10	6.8422E 00	3.8028E 00	6.1183E 02	1.6411E 00	1.2735E 00	1.3349E 00	2.6018E 00	0.0	8.3675E 02
11	6.4113E 00	3.0625E 00	0.3673E 02	1.4453E 00	1.2391E 00	1.3228E 00	2.5537E 00	0.0	1.1043E 01
12	6.7722E 00	2.0981E 00	1.1043E 01	1.1336E 00	1.1901E 00	1.3005E 00	2.5237E 00	0.0	1.2694E 01
13	7.0417E 00	4.4466E 00	1.2649E 01	1.2933E 00	1.1351E 00	1.2621E 00	2.4988E 00	0.0	1.4464E 01
14	7.4244E 00	4.9494E 00	1.4440E 01	1.1285E 00	1.1568E 00	1.3016E 00	2.4229E 00	0.0	1.6353E 01
15	7.9428E 00	5.5908E 00	1.6353E 01	1.0124E 00	1.1961E 00	1.3597E 00	2.4648E 00	0.0	1.8356E 01
16	8.6155E 00	6.1110E 00	1.8856E 01	8.7736E 00	1.2296E 00	1.4172E 00	2.4615E 00	0.0	2.2478E 01
17	9.3097E 00	7.0116E 00	2.2478E 01	7.7578E 00	1.2923E 00	1.5171E 00	2.4534E 00	0.0	2.6786E 01
18	9.9845E 00	7.6847E 00	2.6785E 01	6.4490E 01	1.3447E 00	1.6126E 00	2.4242E 00	0.0	3.3631E 01
19	1.0433E 01	8.2951E 00	3.3631E 01	5.6214E 01	1.4419E 00	1.7818E 00	2.4442E 00	0.0	4.0872E 01
20	1.1204E 01	8.7992E 00	4.0972E 01	4.6374E 01	1.5327E 00	1.9444E 00	2.4361E 00	0.0	4.7814E 01
21	1.1711E 01	9.2791E 00	4.7814E 01	3.7140E 01	1.6320E 00	2.1101E 00	2.4351E 00	0.0	5.8703E 01
22	1.1224E 01	9.6664E 00	5.8703E 01	1.5228E 01	1.8740E 00	2.4043E 00	2.4210E 00	0.0	7.3625E 01
23	1.3222E 01	1.0355E 01	7.3625E 01	3.7074E 01	2.1920E 00	2.8822E 00	2.4776E 00	0.0	8.7660E 01
24	1.3977E 01	1.0846E 01	8.7660E 01	9.4312E 01	2.4523E 00	3.3790E 00	2.4254E 00	0.0	1.0734E 00
25	1.5060E 01	1.0914E 01	1.1370E 00	0.0	0.0	3.9930E 00	5.3832E 00	2.4237E 00	0.0
26	1.6437E 01	1.1013E 01	1.3701E 00	0.0	0.0	4.6633E 00	7.3672E 00	2.4233E 00	0.0
27	1.8459E 01	1.1245E 01	3.3466E 00	0.0	0.0	7.8034E 00	1.1150E 01	2.4232E 00	0.0
28	2.2707E 01	1.1438E 01	4.7394E 00	0.0	0.0	1.1811E 01	1.6551E 01	2.4231E 00	0.0
29	2.2488E 01	1.1438E 01	6.6447E 00	0.0	0.0	1.6522E 01	2.3167E 01	2.4230E 00	0.0
30	3.4775E 01	1.1609E 01	1.5207E 01	0.0	0.0	2.1533E 01	3.3027E 01	2.4230E 00	0.0
31	4.4423E 01	1.1797E 01	1.1434E 01	0.0	0.0	3.4778E 01	5.0039E 01	2.4230E 00	0.0
32	6.2310E 01	1.2272E 01	1.5207E 01	0.0	0.0	4.3028E 01	6.6472E 01	2.4230E 00	0.0
33	7.9174E 01	1.2302E 01	2.3843E 01	0.0	0.0	5.1093E 01	9.5716E 01	2.4230E 00	0.0
34	1.0798E 02	1.2362E 01	4.4621E 01	0.0	0.0	4.8320E 01	8.5487E 01	2.4230E 00	0.0
35	9.6524E 01	1.1936E 01	3.7167E 01	0.0	0.0	4.8320E 01	8.5487E 01	2.4230E 00	0.0

JAERI-M 5794

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), STOG \*\*\*

MULTI-GROUP	TOTAL	SMOOTH SCATTERING	ELASTIC CAPTURE	INELASTIC SCATTERING	SMOOTH FISSION	SMOOTH ABSORPTION	NEUTRONS PER FISSION	TOTAL N=2N	N. GAMMA MT=102
36	3.5508E 01	1.1416E 01	6.9849E 00	0.0	1.7107E 01	2.4052E 01	2.4230E 00	0.0	6.9849E 00
37	6.0736E 01	1.2516E 01	1.2360E 01	0.0	3.5860E 01	4.8220E 01	2.4230E 00	0.0	1.2360E 01
38	8.5335E 01	1.3498E 01	7.0548E 00	0.0	6.4782E 01	7.1837E 01	2.4230E 00	0.0	7.0548E 00
39	5.0090E 02	1.5148E 01	7.4573E 01		4.1118E 02	4.8575E 02	2.4230E 00	0.0	7.4573E 01

RESONANCE INTEGRALS TO 0.4650 EV

FISSION	2.8913E 02
CAPTURE	1.3781E 02
N. GAMMA	1.3781E 02
N. P	0.0
N. D	0.0
N. T	0.0
N. ME-3	0.0
N. ALPHA	0.0
N. 2ALPHA	0.0
SCATTER	1.6822E 02

See the output of TCUF for the slowing-down matrices due to elastic scattering ( $E_0, P_1, \dots, P_5$ ), ( $n, 2n$ ) and inelastic scattering.

(Omitted 11 pages)

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), SUPERTOG.

\*\*\* IN ANISN OUTPUT  
THE THERMAL X-SEC IS REPLACED WITH THERMOS-MUG2 DATA \*\*\*

--- P0 ---		--- P1 ---	
SIGA	NU*SIGF	SIGT	SIG-GG
4.5789E 02	9.4640E 02	4.7250E 02	1.4615E 01
			1.2276E+01

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), POPOP4-JR

```
***** START ****
PCPOP4
***** U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)
***** ELAPSED TIME 19.40 MIN ****
```

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), POPOP4-JR.

\*\*\*\*\*POPOP4\*\*\*\*\*04-01-69 VERSION\*\*\*\*\* WEF=DHW PAGE 1

U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)

98 ARRAY 4 ENTRIES READ

T

NUMBER OF REACTIONS TO BE REDUCED 3

NUMBER OF REACTIONS FROM LIBRARY TAPE 3

NUMBER OF PROBLEM GAMMA GROUPS 19

NUMBER OF PROBLEM NEUTRON GROUPS 39

LOWEST ENERGY OF THE BOTTOM NEUTRON ENERGY GROUP FOR THE REQUIRED YIELD ARRAY 1.00000E-03 EV

LOWEST ENERGY OF THE BOTTOM GAMMA ENERGY GROUP FOR THE REQUIRED YIELD ARRAY 1.00000E 04 EV

108 ARRAY 8 ENTRIES READ

# JAERI-M 5794

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued),

\*\*\*\*\*PCPGP4\*\*\*\*\*04-01-69 VERSION\*\*\*\*\*

REF-DIN PAGE 2

U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)  
U-235 (N,G)NON-FISSION YIELDS UNC=5140, P. 45 92350101

(n, $\gamma$ )-nonfission  
REACTION 923501 U-235 (N,G)NON-FISSION YIELDS UNC=5140, P. 45 92350101  
WAS READ FROM THE PCPGP4 LIBRARY TAPE. THE FOLLOWING ARRAYS WERE READ  
3#  
6#  
7#

#### SYNOPSIS OF INPUT

REACTION NUMBER/TOTAL NUMBER OF REACTIONS TO BE REDUCED -----	1/ 3
LGDTYP 1/2/3 = REP. GAMMA ENERGIES/GROUP BOUNDARIES/DISCRETE ENERGIES	3
IGNG NUMBER OF NEUTRON GROUPS IN THE GIVEN YIELD ARRAY -----	11
IGGG NUMBER OF GAMMA GROUPS IN THE GIVEN YIELD ARRAY -----	19
IPUNO 0/1 = PRINT REQUIRED ARRAY/PRINT AND PUNCH REQUIRED ARRAY -----	0
MULTGY 1/2 = NO EFFECT/ROWS OF GIVEN YIELD ARRAY MULTIPLIED BY %* ARRAY	1
MULTRY 1/2 = NO EFFECT/ROWS OF REQD. YIELD ARRAY MULTIPLIED BY %* ARRAY	2
KSEVEN 0/1 = NO EFFECT/IGGG ENTRIES IN % THEN PUT IN EACH IGNG GROUP -----	0
KBINEN 0/1 = NO EFFECT/YIELDS IN LOWEST GG MUL BY G ENERGY AND SUMMED	1
ING NUMBER OF NEUTRON ENERGY GROUPS FOR THE REQUIRED ARRAY -----	39
IGG NUMBER OF GAMMA ENERGY GROUPS FOR THE REQUIRED ARRAY -----	19
LOOK 0/1 = NO EFFECT/DETAILED CHECK OF PROGRAM IS PRINTED -----	0
MUTT 0/1/-1 = NO EFFECT/FINAL TRANSPOSED YIELD ARRAYS ADDED	1
AND PUNCHED/ARRAYS ADDED BUT NOT PUNCHED -----	1

THIS REACTION REQUIRED 1979 WORDS IN BLANK COMMON.

THE DEFAULT ALLOCATION FOR BLANK COMMON IS 23016 WORDS.

Results are written for the gamma-ray number spectrum due to  
(n, $\gamma$ ) reactions obtained by interpolation or extrapolation  
to 39 neutron and 19 gamma-ray groups. In addition, a list  
is produced for the values obtained by multiplying the  
number spectrum by the (n, $\gamma$ ) cross section.

(Omitted 5 pages)

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued),

\*\*\*\*\*POPGP4\*\*\*\*\*04-01-69 VERSION\*\*\*\*\*

REF-DIN PAGE 8

U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)  
U-235 NO. G-RAYS PFR NEUT-PROD REACTION UNC=5140, TABLE 32 92350301

(n,n' $\gamma$ )  
REACTION 923501 U-235 NO. G-RAYS PFR NEUT-PROD REACTION UNC=5140, TABLE 32 92350301  
WAS READ FROM THE PCPGP4 LIBRARY TAPE. THE FOLLOWING ARRAYS WERE READ  
3#  
6#  
7#

#### SYNOPSIS OF INPUT

REACTION NUMBER/TOTAL NUMBER OF REACTIONS TO BE REDUCED -----	2/ 3
LGDTYP 1/2/3 = REP. GAMMA ENERGIES/GROUP BOUNDARIES/DISCRETE ENERGIES	1
IGNG NUMBER OF NEUTRON GROUPS IN THE GIVEN YIELD ARRAY -----	80
IGGG NUMBER OF GAMMA GROUPS IN THE GIVEN YIELD ARRAY -----	11
IPUNO 0/1 = PRINT REQUIRED ARRAY/PRINT AND PUNCH REQUIRED ARRAY -----	0
MULTGY 1/2 = NO EFFECT/ROWS OF GIVEN YIELD ARRAY MULTIPLIED BY %* ARRAY	1
MULTRY 1/2 = NO EFFECT/ROWS OF REQD. YIELD ARRAY MULTIPLIED BY %* ARRAY	2
KSEVEN 0/1 = NO EFFECT/IGGG ENTRIES IN % THEN PUT IN EACH IGNG GROUP -----	0
KBINEN 0/1 = NO EFFECT/YIELDS IN LOWEST GG MUL BY G ENERGY AND SUMMED	0
ING NUMBER OF NEUTRON ENERGY GROUPS FOR THE REQUIRED ARRAY -----	39
IGG NUMBER OF GAMMA ENERGY GROUPS FOR THE REQUIRED ARRAY -----	19
LOOK 0/1 = NO EFFECT/DETAILED CHECK OF PROGRAM IS PRINTED -----	0
MUTT 0/1/-1 = NO EFFECT/FINAL TRANSPOSED YIELD ARRAYS ADDED	1
AND PUNCHED/ARRAYS ADDED BUT NOT PUNCHED -----	1

THIS REACTION REQUIRED 4238 WORDS IN BLANK COMMON.

THE DEFAULT ALLOCATION FOR BLANK COMMON IS 23016 WORDS.

The rest of the output for (n,n' $\gamma$ ) is in the same  
form as explained for the above-mentioned (n, $\gamma$ )

(Omitted 15 pages)

# JAERI-M 5794

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued),

\*\*\*\*\*POPUPP\*\*\*\*\*04-01-69 VERSION\*\*\*\*\*

REF-DHW PAGE 14

U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39+G=19+PS)  
U-235 (N+G)TH FIS YIELDS CLAIBORNE INTR-LAR CORRESP. 1/29/68 92350801

(n,T)-Fission  
REACTION 925A01 U-235 (N+G)TH FIS YIELDS CLAIBORNE INTR-LAR CORRESP. 1/29/68 92350801  
WAS READ FROM THE POPUPP LIBRARY TAPE. THE FOLLOWING ARRAYS WERE READ  
6\*  
7\*

## SYNOPSIS OF INPUT

REACTION NUMBER	TOTAL NUMBER OF REACTIONS TO BE REDUCED	3/ 3
LGCTYP	1/2/3 = REP. GAMMA ENERGIES/GROUP BOUNDARIES/DISCRETE ENERGIES	2
IGNG	NUMBER OF NEUTRON GROUPS IN THE GIVEN YIELD ARRAY	39
IGGG	NUMBER OF GAMMA GROUPS IN THE GIVEN YIELD ARRAY	20
IPUNO	0/1 = PRINT REQUIRED ARRAY/PRINT AND PUNCH REQUIRED ARRAY	0
MULTGY	1/2 = NO EFFECT/ROWS OF GIVEN YIELD ARRAY MULTIPLIED BY 8* ARRAY	1
MULTRY	1/2 = NO EFFECT/ROWS OF REQ. YIELD ARRAY MULTIPLIED BY 9* ARRAY	2
KSEVEN	0/1 = NO EFFECT/IGGG ENTRIES IN 7* THEN PUT IN EACH IGNNG GROUP	1
KBINER	0/1 = NO EFFECT/YIELDS IN LOWEST GG MULIT BY G ENERGY AND SUMMED	1
ING	NUMBER OF NEUTRON ENERGY GROUPS FOR THE REQUIRED ARRAY	39
IGG	NUMBER OF GAMMA ENERGY GROUPS FOR THE REQUIRED ARRAY	19
LOOK	0/1 = NO EFFECT/DETAILED CHECK OF PROGRAM IS PRINTED	0
MUTT	0/1/-1 = NO EFFECT/FINAL TRANSPOSED YIELD ARRAYS ADDED AND PUNCHED/ARRAYS ADDED BUT NOT PUNCHED	1

THIS REACTION REQUIRED 4261 WORDS IN BLANK COMMON.

THE DEFAULT ALLOCATION FOR BLANK COMMON IS 23016 WORDS.

The rest of the output for (n,T)-fission is in the same form as mentioned above.

(Omitted 5 pages)

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued),  
\*\*\*\*\*POPUPP\*\*\*\*\*04-01-69 VERSION\*\*\*\*\*

REF-DHW PAGE 20

U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39+G=19+PS)  
U-235 (N+G)TH FIS YIELDS CLAIBORNE INTR-LAR CORRESP. 1/29/68 92350801

## FINAL YIELD ARRAY (SUM OF THE YIELD ARRAYS FOR THE 3 REACTIONS)

ROW 1 IS THE UPPER ENERGIES (IN EV) OF THE NEUTRON ENERGY INTERVALS

COLUMN 1 IS THE GAMMA ENERGIES IN EV

ROW	COLM 1	COLM 2	COLM 3	COLM 4	COLM 5	COLM 6	COLM 7	COLM 8
1	0.0	1.3000E-07	3.2500E-07	1.0000E-07	8.3000E-06	6.5000E-06	5.0000E-06	4.0000E-06
2	1.0000E-07	3.8749E-09	3.2563E-09	4.3300E-09	2.6864E-09	2.3478E-09	2.0382E-09	2.1816E-09
3	9.0000E-08	3.8879E-08	3.2563E-08	4.3300E-08	2.6864E-08	2.3478E-08	2.0382E-08	2.1816E-08
4	8.0000E-08	4.7065E-09	3.4947E-09	4.0311E-09	3.4947E-09	2.4707E-09	2.0673E-09	2.6943E-09
5	7.0000E-08	1.4545E-08	1.3994E-08	2.2268E-08	1.3994E-08	5.5485E-09	5.0041E-09	8.0743E-09
6	6.0000E-08	6.4456E-09	2.4560E-09	5.1656E-09	4.6639E-09	3.0304E-09	3.2934E-09	3.5365E-09
7	5.0000E-08	2.7384E-09	2.3329E-09	2.0084E-09	1.7533E-09	1.2888E-09	1.2302E-09	1.3140E-09
8	4.0000E-08	7.4517E-09	7.0054E-09	6.1777E-09	5.4129E-09	4.1513E-09	3.8179E-09	4.0105E-09
9	3.0000E-08	2.4410E-09	2.0253E-09	1.9702E-09	1.7859E-09	1.6376E-09	1.4126E-09	1.3415E-09
10	2.0000E-08	5.0883E-09	2.0777E-09	4.3304E-09	4.1461E-09	4.6363E-09	5.0316E-09	5.9508E-09
11	1.0000E-08	5.2493E-09	4.4037E-09	4.4988E-09	4.3149E-09	4.8801E-09	4.8341E-09	4.7129E-09
12	8.0000E-09	7.2413E-09	6.0713E-09	6.2136E-09	5.7859E-09	5.8866E-09	5.9441E-09	5.9441E-09
13	6.0000E-09	7.1089E-09	5.3985E-09	5.1442E-09	5.6192E-09	4.8834E-09	4.9772E-09	5.2111E-09
14	3.0000E-09	6.9151E-09	5.3126E-09	5.4507E-09	4.9447E-09	4.1807E-09	4.2466E-09	4.4619E-09
15	1.5000E-09	2.4667E-09	2.0731E-09	2.1266E-09	1.9167E-09	1.5840E-09	1.6559E-09	1.6594E-09
16	1.0000E-09	1.1141E-09	9.5619E-10	9.8290E-10	9.1051E-10	8.2548E-10	8.4504E-10	8.8611E-10
17	6.0000E-09	4.7670E-09	4.7809E-09	4.9123E-09	4.5515E-09	4.1259E-09	4.2232E-09	4.4077E-09
18	4.0000E-09	4.2930E-09	3.9856E-09	3.6882E-09	3.4136E-09	3.0944E-09	3.1674E-09	3.3029E-09
19	2.5000E-09	2.4353E-09	2.3904E-09	2.4562E-09	2.2757E-09	2.0629E-09	2.1116E-09	2.2009E-09
20	1.5000E-09	1.4176E-09	1.1992E-09	1.2281E-09	1.1378E-09	1.0314E-09	1.0398E-09	1.1044E-09

(COLM 9 ~ COLM 32) Omitted

ROW	COLM 33	COLM 34	COLM 35	COLM 36	COLM 37	COLM 38	COLM 39	COLM 40
1	1.0000E-02	6.6500E-01	2.1500E-01	1.0000E-01	4.6500E-00	2.1500E-00	1.0000E-00	4.6500E-01
2	6.6077E-02	9.1749E-02	9.7047E-02	9.1677E-02	3.2802E-03	6.1346E-03	1.2308E-02	7.8124E-02
3	6.6077E-02	8.1771E-02	9.7047E-02	9.1677E-02	3.2802E-03	6.1346E-03	1.2308E-02	7.8124E-02
4	1.9984E-02	9.4963E-02	9.1751E-02	9.1111E-02	3.9249E-02	8.2477E-02	1.4899E-01	9.4571E-01
5	3.1666E-02	1.1564E-02	5.7184E-02	5.4662E-02	1.5379E-02	2.3551E-02	4.7040E-01	3.0463E-00
6	1.1105E-02	1.4020E-02	1.7203E-02	1.6455E-02	5.4917E-02	1.1118E-02	2.00079E-00	1.2718E-01
7	4.2273E-02	5.1111E-02	6.5726E-02	6.2940E-02	2.0713E-02	4.2507E-02	7.4648E-02	4.7593E-01
8	1.2764E-02	1.6702E-02	1.9770E-02	1.8925E-02	5.2848E-02	1.2864E-02	2.7652E-01	1.4429E-02
9	3.9702E-02	4.9430E-02	6.0646E-02	5.7884E-02	1.9786E-02	4.0268E-02	7.1359E-01	4.5412E-02
10	8.8559E-02	1.1066E-02	1.3733E-02	1.2980E-02	4.3306E-02	8.9114E-02	1.5784E-02	1.0046E-02
11	9.2379E-02	1.1668E-02	1.4433E-02	1.3326E-02	4.5504E-02	9.3391E-02	1.6411E-02	1.0457E-02
12	1.36113E-02	1.7320E-02	2.2136E-02	2.1497E-02	6.6482E-02	1.3397E-02	2.2963E-02	1.4844E-02
13	1.1927E-02	1.4756E-02	1.7523E-02	1.6571E-02	5.8667E-02	1.2298E-02	2.2216E-02	1.4429E-02
14	1.0617E-02	1.3135E-02	1.5794E-02	1.4751E-02	5.2223E-02	1.0947E-02	1.7747E-02	1.3549E-02
15	4.1536E-02	5.1191E-02	6.1125E-02	5.7710E-02	2.0431E-02	4.2829E-02	7.7372E-02	4.9109E-02
16	6.2119E-02	9.1418E-02	1.5703E-02	1.3708E-02	2.5731E-02	4.0814E-02	4.3527E-02	3.0329E-02
17	9.4827E-02	1.3732E-02	1.39319E-02	1.31752E-02	4.6644E-02	9.1747E-02	1.74638E-02	1.12115E-02
18	7.1120E-02	8.7693E-02	1.0449E-02	9.88119E-02	3.9933E-02	7.3334E-02	1.32477E-02	8.4046E-02
19	4.74137E-02	5.8462E-02	6.9659E-02	6.28759E-02	2.3322E-02	4.4849E-02	8.8319E-02	5.60177E-02
20	2.3706E-02	2.9331E-02	3.19429E-02	3.2938E-02	1.1001E-02	2.9444E-02	4.9159E-02	2.80289E-02

THE ABOVE ARRAY WAS PUNCHED (IN FIDC FORMAT) WITH THE NEUTRON AND GAMMA ENERGIES REMOVED.

JAERI-M 5794

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), GAMLEG-JR.

```
*****
**          **** START ****
**          GAMLEG
**          U-235   SAMPLE PROBLFM (N=39,G=19,P5)
**          **** ELAPSED TIME 19.85 MIN
**          ****
17* ARRAY 10 ENTRIES READ
T
18* ARRAY 1 ENTRIES READ
19* ARRAY 20 ENTRIES READ
20* ARRAY 20 ENTRIES READ
J
```

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), GAMLEG-JR.

INPUT DATA				
I2	NO. OF INPUT ATOMIC NUMBERS	1	IG	NO. OF GROUPS
NMAX	NO. OF LEGENDRE COMPONENTS	5	NCAL	NO. OF INTEGRATION POINTS/GROUP
KON	/O/W/MX/MONE/SOURCE	0	ICAL	0/1*SEC INPUT/CALCULATE
IS	NO. OF SOURCE ENERGIES	20	IF	NO. OF INPUT FLUXES
IA	NO. OF ABSORPTION ENERGIES	0	IC	NO. OF COHERENT SCATTER ENERGIES
PRTD	0/1=PRINT DETAIL X=SEC NO/YES	0	PRT1	0/1=PRINT DETAIL HEAT COEFF NO/YES

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued),

GROUP	AVG FLUX	AVG SIGMA S	AVG SOURCE
1	0.10000E 02	0.21227E 00	0.10000E 01
2	0.10000E 02	0.21003E 00	0.10000E 01
3	0.10000E 02	0.21150E 00	0.10000E 01
4	0.10000E 02	0.27807E 00	0.10000E 01
5	0.10000E 02	0.11196E 00	0.10000E 01
6	0.10000E 02	0.15698E 00	0.10000E 01
7	0.10000E 02	0.42038E 00	0.10000E 01
8	0.10000E 02	0.51816E 00	0.10000E 01
9	0.10000E 02	0.66944E 00	0.10000E 01
10	0.10000E 02	0.85025E 00	0.10000E 01
11	0.10000E 02	0.10043E 01	0.10000E 01
12	0.10000E 02	0.12757E 01	0.10000E 01
13	0.10000E 02	0.15776E 01	0.10000E 01
14	0.10000E 02	0.18718E 01	0.10000E 01
15	0.10000E 02	0.20761E 01	0.10000E 01
16	0.10000E 02	0.22517E 01	0.10000E 01
17	0.10000E 02	0.23765E 01	0.10000E 01
18	0.10000E 02	0.24776E 01	0.10000E 01
19	0.10000E 02	0.25442E 01	0.10000E 01

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), GAMLEG-JR.

GROUP	ABSCRB	COHERENT	HEAT
	X=SEC.	X=SEC.	Coeff.
1	0.15050E 02	0.14891E 01	0.11752E 02
2	0.14178E 02	0.18407E 01	0.11952E 02
3	0.13176E 02	0.23371E 01	0.11160F 02
4	0.12022E 02	0.30715E 01	0.11731E 02
5	0.10498E 02	0.42233E 01	0.12210F 02
6	0.91930E 01	0.62148E 01	0.11600F 02
7	0.75476E 01	0.10096E 00	0.11019E 02
8	0.56186E 01	0.19492E 00	0.11659E 02
9	0.36092E 01	0.40450E 00	0.11659E 02
10	0.18162E 02	0.11120E 01	0.14835E 02
11	0.47647E 02	0.25591E 01	0.13949E 02
12	0.45920E 02	0.64844E 01	0.80563E 02
13	0.39109E 03	0.20744E 02	0.24812E 03
14	0.13994E 05	0.57806E 02	0.40875F 04
15	0.65464E 03	0.13801E 03	0.41077E 02
16	0.24345E 04	0.32965E 03	0.24433F 04
17	0.84176E 04	0.73718E 03	0.84211F 04
18	0.13734E 05	0.19223E 04	0.13737F 05
19	0.13734E 05	0.45917E 04	0.11736F 05

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), GAMLEG-JR.

P 0 CROSS SECTION TABLE ATOMIC NUMBER= 0.920E 02								
GROUP= 1	GROUP= 2	GROUP= 3	GROUP= 4	GROUP= 5	GROUP= 6	GROUP= 7	GROUP= 8	
1	0.150502E 02	0.14173E 02	0.13175E 02	0.120225E 02	0.11697E 02	0.01930E 01	0.75475E 01	-0.563865E 01
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.194352E 02	0.194741E 02	0.189692E 02	0.18432E 02	0.178973E 02	0.17445E 02	0.172930E 02	0.177214E 02
4	0.140373E 00	0.17453E 00	0.22292E 00	0.294715E 00	0.407878E 00	0.01743F 00	0.476772F 00	0.185919E 01
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GROUP= 9	GROUP=10	GROUP=11	GROUP=12	GROUP=13	GROUP=14	GROUP=15	GROUP=16	
1	0.360917E 01	0.16924E 02	0.27946E 02	0.89019E 02	0.39108E 03	0.159839E 05	0.654647E 03	0.241869E 04
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.214334E 02	0.315147E 02	0.343678E 02	0.124771E 03	0.446762E 03	0.16084E 05	0.80284E 03	0.28198CE 04
4	0.366401E 01	0.511515E 01	0.328574E 01	0.174232E 02	0.42293E 02	0.13830E 02	0.175919E 03	0.372323E 03
5	0.140353E 01	0.172441E 01	0.642868E 01	0.923556E 01	0.177936E 02	0.19169E 02	0.193638E 02	0.972347E 01
6	0.140352E 01	0.185324E 01	0.31394E 01	0.488706E 01	0.788014E 01	0.528004E 00	0.274354E 00	0.0
7	0.137901E 01	0.124083E 01	0.19131E 01	0.31489E 01	0.41197E 01	0.0	0.0	0.0
8	0.105588E 01	0.463515E 01	0.138691E 01	0.21211E 01	0.222730E 01	0.0	0.0	0.0
9	0.482223E 00	0.761434E 00	0.10984E 00	0.10984E 00	0.15624E 00	0.11916E 01	0.0	0.0
10	0.760740E 00	0.67394E 00	0.91248E 00	0.12383E 01	0.762561E 00	0.0	0.0	0.0
11	0.670209E 00	0.53790E 00	0.78153E 00	0.10259E 01	0.55488E 00	0.0	0.0	0.0
12	0.59978E 00	0.52184E 00	0.68369E 00	0.77579E 00	0.43403E 00	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.469387E 00	0.607779E 00	0.763572E 00	0.355515E 00	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.547124E 00	0.677512E 00	0.300619E 00	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.608639E 00	0.260179E 00	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.22919E 00	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), GAMLEG-JR.

GROUP=17	GROUP=18	GROUP=19	
1	0.841762E 04	0.147344E 05	0.137344E 05
2	0.0	0.0	0.0
3	0.922932E 04	0.157136E 05	0.183945E 05
4	0.806596E 03	0.147628E 04	0.465007E 04
5	0.189916E 01	0.309709E 01	0.39074E 01
6	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0

GROUP= 1	GROUP= 2	GROUP= 3	GROUP= 4	GROUP= 5	GROUP= 6	GROUP= 7	GROUP= 8	
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.124247E 00	0.155767E 00	0.198962E 00	0.262953F 00	0.335576E 00	0.335515E 00	0.461954E 00	0.162013E 01
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**JAERI-M 5794**

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), NEHEAT.

```
=====
*** START ***
NEHEAT
U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)
ELAPSED TIME 30.25 MIN
=====
```

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), NEHEAT.

\*\*\* NEUTRON 1ST GENERATION COEFFICIENT \*\*\*

26\* ARRAY 4 ENTRIES READ

GRCUP	AVE ENERGY	HAT COEFF.	INFLAS
1	0.112107E 02	0.3602170F 03	0.2078483E-01
2	0.1033R17E 02	0.3016746F 03	0.2008426E-01
3	0.8681410E 01	0.3045320F 03	0.1997033E-01
4	0.6495241E 01	0.2674591F 03	0.1557222E-01
5	0.5506757E 01	0.1897820F 03	0.1450120E-01
6	0.4544776E 01	0.1184847F 03	0.1449296E-01
7	0.3628571E 01	0.2027644F 03	0.1147439E-01
8	0.2742535E 01	0.1915235F 03	0.2028847E-01
9	0.2130904E 01	0.2305651F 03	0.2194685E-01
10	0.1423272E 01	0.2241737F 03	0.1119648E-01
11	0.1242847E 01	0.2181187F 03	0.1044291E-01
12	0.4781062E 00	0.2034739F 03	0.6291711E-02
13	0.7049031E 00	0.1994016F 03	0.4774645E-02
14	0.5575160E 00	0.2016074F 03	0.3345027E-02
15	0.4444440E 00	0.2103357F 03	0.2576052E-02
16	0.3992949E 00	0.2152366F 03	0.1725852E-02
17	0.2767660E 00	0.2274545F 03	0.1349282E-02
18	0.2222222E 00	0.2366882F 03	0.9843607E-03
19	0.1714298E 00	0.2537890F 03	0.6194681E-03
20	0.1433929E 00	0.2697661F 03	0.4847616E-03
21	0.1028576E 00	0.2877338F 03	0.2219466E-03
22	0.719974E-01	0.3198466F 03	0.5599552E-04
23	0.4400200E-01	0.3681940F 03	0.4442114E-05
24	0.1999950E-01	0.4316131F 03	0.9566706E-06
25	0.1043486E-01	0.5407353F 03	0.14944E-07
26	0.5133313E-02	0.7026648F 04	0.0
27	0.2466667E-02	0.9520631F 04	0.0
28	0.1433313E-02	0.1275391F 04	0.0
29	0.1433313E-03	0.2078733F 04	0.0
30	0.2940415E-03	0.2907854F 04	0.0
31	0.1465017E-03	0.3789759F 04	0.0
32	0.6348413E-04	0.6120882F 04	0.0
33	0.2800464E-04	0.7571011F 04	0.0
34	0.1465017E-04	0.8992749F 04	0.0
35	0.6348413E-05	0.8506279F 04	0.0
36	0.2840441E-05	0.3010784F 04	0.0
37	0.1465017E-05	0.6311146F 04	0.0
38	0.6348413E-06	0.1140154F 05	0.0
39	0.2800963E-07	0.7236792F 05	0.0

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), TCUP.

```
=====
*** START ***
TCUP
U-235 SAMPLE PROBLEM (N=39,G=19,P5)
ELAPSED TIME 30.27 MIN
=====
```

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), TCUP.

29\* ARRAY 9 ENTRIES READ

T

ING NUMBER OF NEUTRON GROUPS	39	
IGG NUMBER OF GAMMA GROUPS	19	
ILN LENGTH OF NEUTRON CROSS SECTION TABLE	42	
ILG LENGTH OF GAMMA-RAY CROSS SECTION TABLE	22	
MT NUMBER OF COUPLED CROSS SECTION SETS REQUIRED	1	
IPO 0/1/2 PRINT/PRINT AND PUNCH/PUNCH COUPLED SET	1	
IPN ORDER OF SCATTER	5	
NCACT NUMBER OF ACTIVITY CROSS SECTION	1	
CROSS SECTIONS REQUIRED	20449 COMMON POSITIONS OF THE	50010 POSITIONS ALLOCATED

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), TCUP.

P= 0 COUPLED CROSS SECTION SET

POS	GP 1	GP 2	GP 3	GP 4	GP 5	GP 6	GP 7	GP 8 ← the 8-th N group
1	3.60217E 02	3.01674E 02	3.08532E 02	2.67459E 02	1.89792E 02	1.88890E 02	2.02764E 02	2.19703E 02 ← heat generation coeff.
2	2.04879E 00	1.71710F 00	1.75847E 00	1.52941E 00	1.09218F 00	1.09210F 00	1.17760F 00	1.28796E 00 ← Z <sub>1</sub>
3	8.90940E 00	6.88368F 00	6.62372E 00	5.34831F 00	3.49232E 00	3.22335E 00	3.26108F 00	3.39469E 00 ← p <sub>2</sub>
4	5.74317E 00	5.76426F 00	5.49563E 00	6.34616E 00	7.28225E 00	7.79400E 00	7.92521E 00	7.66033E 00 ← p <sub>3</sub>
5	3.05555E 00	2.94373F 00	3.12182E 00	3.64243E 00	4.38030E 00	4.88424E 00	5.0820RE 00	4.69424E 00 ← Z <sub>(i→j)</sub>
6	0.0	2.41478F-02	3.41789E-02	4.38313E-02	4.59386E-02	6.33932E-02	1.00618E-02	7.81058E-02 ← Z <sub>(7→8)</sub>
7	0.0	0.0	8.24425E-00	3.69331E-04	1.21246E-03	5.02291E-03	2.05991E-02	4.51139E-02
8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.55106E-03	9.00391E-03	1.0675E-02	3.89631E-02
9	0.0	0.0	0.0	0.0	3.98324E-03	1.16482E-02	1.94762E-02	3.33345E-02
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.43412E-02	6.41222E-02
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.20687E-02 ← Z <sub>(i→j)</sub>
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 14 THRU POS 62 SAME AS ABOVE								
POS	GP 9	GP 10	GP 11	GP 12	GP 13	GP 14	GP 15	GP 16
1	2.30566E 02	2.24176F 02	2.18116E 02	2.09674E 02	1.59802E 02	2.03608E 02	2.10535E 02	2.16257E 02
2	1.35541E 00	1.33487F 00	1.32274E 00	1.30040E 00	1.26205E 00	1.30156E 00	1.35966E 00	1.41721E 00
3	3.48480E 00	3.11339E 00	3.17063E 00	3.00333E 00	2.93646E 00	2.87210E 00	2.95778E 00	3.02493E 00
4	7.17305E 00	6.84420F 00	6.71125E 00	6.75210E 00	7.04174E 00	7.42445E 00	7.98280E 00	8.61557E 00
5	4.202799E 00	4.02336E 00	4.01539E 00	4.24903E 00	4.65031E 00	5.12375E 00	5.69956E 00	6.32995E 00
6	8.378468E-01	8.74552F-01	5.57977E-01	3.55063E-01	3.42382E-01	5.02484E-01	5.24377E-01	5.73454E-01
7	5.62293E-02	7.93686F-02	1.95773E-01	9.93207E-01	5.20451E-01	1.25780E-01	1.75029E-01	2.36775E-01
8	8.366432E-02	1.04964E-01	7.45837E-01	8.78510E-01	5.79125E-02	3.79192E-01	3.17133F-01	1.77746E-01
9	1.15532E-01	1.74786E-01	1.10197E-01	1.32313E-01	7.87391E-02	5.05822E-02	3.12394E-01	2.16044E-01
10	9.09849E-02	2.10372F-01	1.90452E-01	2.10102E-01	1.09239E-01	7.68218E-01	1.73814E-01	2.18833E-01
11	9.76271E-02	1.70152E-02	2.08114E-01	2.81717E-01	1.61475E-01	1.00919E-01	6.44147E-02	4.77A47E-02
12	1.43040E-01	1.83343F-01	1.78841E-01	2.85062F-01	2.02281E-01	1.12291E-01	8.87686E-02	6.54e10E-02
13	9.82901E-02	2.35212F-01	1.90536E-01	2.28473E-01	1.20252E-01	1.78134E-01	1.16621E-01	7.97227E-02
14	0.0	1.17816F-01	2.14136E-01	2.75803E-01	1.91492E-01	1.58426E-01	1.33201E-01	1.05193E-01
15	0.0	0.0	1.15474E-01	1.35813E-01	1.68654E-01	1.67284E-01	1.39116E-01	1.18598E-01
16	0.0	0.0	0.0	1.35185E-01	1.87507E-01	1.65746E-01	1.37624E-01	1.27A12E-01
17	0.0	0.0	0.0	0.0	8.23921E-02	1.4941AE-02	1.11242E-01	1.25160E-01
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.25484E-02	1.19272E-01	1.15609E-01
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.56726E-02	9.58811E-02
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.74769E-02
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 22 THRU POS 62 SAME AS ABOVE								
( GP 17 ~ GP 32 ) omitted								

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), TCUP.

POS	GP 33	GP 34	GP 35	GP 36	GP 37	GP 38	GP 39	GP 40 ← the first G group
1	7.37101E 03	8.92747E 03	8.50427E 03	3.01078E 03	6.31142E 03	1.14014E 04	7.23679E 04	1.37415E 01
2	8.68718F 01	9.57160F 01	8.44872E 01	7.40916E 01	4.82202E 01	7.13366E 01	4.57888E 02	1.50462E 01
3	1.02450E 02	1.21480F 02	1.17079E 02	4.14845E 01	8.68896E 01	9.56966E 02	9.46901E 02	0.0
4	7.91742E 01	1.07974F 02	9.65232E 01	3.55076E 01	6.07362E 01	8.553346E 01	4.72501E 02	1.99952E 01
5	1.216366E 01	1.213399E 01	1.09190E 01	1.12825E 01	1.23292E 01	1.33384F 01	1.46147E 01	1.40737E 01 ← (G <sub>i</sub> →G <sub>j</sub> )
6	1.233544E-01	1.41757F-01	1.20963E-01	1.17349E-01	1.33189F-01	1.33189F-01	1.33189F-01	7.81245E-02 ← (N3j→G <sub>i</sub> )
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.23089E-02 ← (N3j→G <sub>i</sub> )
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.81346E-03 ← (N8j→G <sub>i</sub> )
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.25038E-03
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.18071E-03
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.18071E-03
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.17541E-03
13	3.03235E-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.09122E-03
14	0.0	1.26512E-06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.13920E-03
15	0.0	0.0	2.569315E-07	0.0	0.0	0.0	0.0	2.24409E-03
16	0.0	0.0	0.0	4.17726E-08	0.0	0.0	0.0	1.48264E-03
17	0.0	0.0	0.0	0.0	1.20200E-08	0.0	0.0	1.03459E-03
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.07077E-09	0.0	7.58479E-04
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8377DE-04
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.65046E-04
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.97879E-04
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.45583E-04
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.10779E-04
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.91215E-04
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.73465E-04
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.55102E-04
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.45534E-04
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.12764E-04
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.12764E-04
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.19784E-04
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.15672E-04
32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.26111E-04
33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.35432E-04
34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.41962E-04
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.44850E-04
36	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.37208E-04
37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.18416E-04
38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.03427E-04
39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.04789E-04
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.08849E-04
41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.13305E-04
42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.125603E-04
43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.88798E-04 ← (N1→G <sub>i</sub> )
44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 46 THRU POS 62 SAME AS ABOVE								



**JAERI-M 5794**

Table 4.2 Output of Sample Problem (continued), TCUP.

POS	GP 41	GP 42	GP 43	GP 44	GP 45	GP 46	GP 47	GP 48
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 2 THRU POS 4 SAME AS ABOVE								
5	1.50744E-01	1.80761F-01	2.45812E-01	3.36179E-01	4.75690E-01	7.10394E-01	1.09388E-00	1.31122E-00
6	2.13692E-01	2.88555E-01	3.65987E-01	4.47754E-01	5.43639E-01	6.81742E-01	6.25845E-01	-1.16241E-01
7	0.0	2.10512E-01	2.45943E-01	2.83719E-01	3.11433E-01	2.82692E-01	3.16041E-02	-5.80379E-01
8	0.0	0.0	1.80121E-01	1.94871E-01	1.91485E-01	1.29387E-01	-1.02926E-01	-4.95204E-01
9	0.0	0.0	0.0	1.41909E-01	1.26571E-01	5.88641E-02	-1.45976E-01	-4.05604E-01
10	0.0	0.0	0.0	0.0	8.80116E-02	2.23952E-02	-1.53435E-01	-3.38714E-01
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.30114E-01	-1.50325E-01	-2.88221E-01
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.44249E-01	-2.50291E-01
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.20763E-01
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 15 THRU POS 62 SAME AS ABOVE								
POS	GP 49	GP 50	GP 51	GP 52	GP 53	GP 54	GP 55	GP 56
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 2 THRU POS 4 SAME AS ABOVE								
5	1.27715E-01	4.41709E-01	-6.81198E-02	-1.61314E-01	-1.45631E-01	-2.98253E-01	0.0	0.0
6	-1.26033E-01	-1.36227E-01	-8.53035E-02	2.67737E-01	1.495552E-01	-7.74126E-01	0.0	0.0
7	-5.80883E-01	-6.11922E-03	6.93070E-01	-2.91529E-01	-7.03751E-02	1.34429E-02	0.0	0.0
8	-2.51010E-01	3.49361E-01	1.21495E-02	-1.88990E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
9	-1.29933E-01	3.67651E-01	-2.21740E-01	4.17048E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
10	-6.04951E-02	3.04194E-01	-2.20145E-01	1.33797E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
11	-2.84937E-02	2.94720E-01	-1.85368E-01	1.04523E-01	0.0	0.0	0.0	0.0
12	-1.05787E-02	2.19217E-01	-1.46074E-01	7.94590E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
13	2.56172E-02	1.190464E-01	-1.38071E-01	6.22950E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
14	6.99471E-03	1.88031F-01	-1.21044E-01	5.04556E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	1.50121F-01	-1.07215E-01	4.19981E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	-9.60760E-02	3.57441E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	3.09757E-02	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POS 14 THRU POS 62 SAME AS ABOVE								
POS	GP 57	GP 58						
1	0.0	0.0						
POS 2 THRU POS 62 SAME AS ABOVE								

THE COUPLED CROSS SECTION SET WAS PUNCHED

\*\*\*\*\*  
END OF PROBLEM

TOTAL CPU TIME -- 20.60 MIN

\*\*\*\*\*  
\* END OF FORTRAN \*

Table 4.3 Atomic Number Density in Each Zone of Assembly V-3 ( $\times 10^{22} / \text{cm}^3$ )

Zone Nucleus	Core	C, S	SUS Matrix	Na Base	FDA	PDA	FDN
Pu 239	0.10458	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Pu 240	0.00933	0.	0.	0.	0.	0.	0.
Pu 241	0.00107	0.	0.	0.	0.	0.	0.
U 235	0.1470	0.4900	0.	0.	0.002010	0.001870	0.002021
U 238	0.5836	1.9453	0.	0.	0.9207	0.9228	0.9207
O 16	1.3101	0.	0.	0.	3.2167	3.2215	1.8548
Na	0.8134	0.	0.	1.6592	0.	0.	0.7656
Al	0.8830	1.2502	0.	0.	1.1905	1.1905	0.
Cr	0.3273	0.38048	0.1229	0.4065	0.5280	0.5280	0.3134
Fe	1.1950	1.38395	0.4474	1.4936	1.9184	1.9184	1.1504
Ni	0.1535	0.16421	0.05357	0.1752	0.2258	0.2258	0.1420

## 5. む す び

原子炉構造材、遮蔽体中における中性子およびガンマ線の輸送・発熱計算を、各種の群定数の作成から系統的に行なうことのできるコードシステムの開発を行なった。システム化にあたっては、群定数作成部分特に工夫がなされ、中性子発熱およびガンマ線発熱定数作成ルーチンは新たに開発された。また、本コードシステムに使用した各コードは、計算機能を向上するため、各種の改造が加えられた。システムへの入力データは、可能なかぎりFORMATを統一し、かつデータ作成の際の繁雑さをさけるため、各コードに共通な入力データはまとめて最初に入力するようにした。

コードシステムの諸機能のテストと計算精度の評価のため、FCAにおける中性子、ガンマ線分布の測定結果を解析した。システムは機能面では十分実用に供し得ることが、この解析計算から確認されたが、測定値との比較では±20~30%の差が見られた。この解析計算の結果については別に報告する予定であるが、システムの計算精度をより一層、向上させるためには、今後次の諸点を積極的に研究して行く必要があることが、今回の作業を通じて確認された。すなわち、

1) 体系中の放射線発熱は、体系中の中性子およびガンマ線の分布に依存する。したがって発熱量の計算精度は、中性子、ガンマ線のスペクトル分布、線束分布の計算精度に強く影響される。したがって、まず中性子、ガンマ線のスペクトル分布、線束分布の計算精度を上げる必要がある。これらの計算精度の評価を目的とした体系中の中性子、ガンマ線分布の測定を絶対値で行なう必要がある。

2) 一方、直接体系中の放射線発熱量あるいはエネルギー吸収量を測定できる測定技術を早急に確立する必要がある。

3) 2次ガンマ線発熱定数の評価と収集およびそのファイリングを行なう必要がある。またそれらのデータの評価に関する作業を行なう必要がある。今回の作業では、POPOP4ライブラリに収録されているデータを利用したが、このライブラリには一つの元素について何種類かの違ったデータが収録されており、それぞれかなりの違いがある。このため、どのデータを選択すべきかの判定に困難を感じた。また、POPOP4ライブラリには熱中性子以上のエネルギーを持つ中性子の捕獲ガンマ線のデータ、あるいは非弾性散乱ガンマ線のデータが不十分である。

4) 輸送計算法自体の検討、特に深い透過における空間メッシュ幅のとり方、角度分布の強い前方ピークの取扱い、最適S/N分割数、エネルギー組分けの方法等に関する系統的な研究が必要であろう。

さらに、本コードシステムの今後の課題として、放射線損傷問題がある。この問題も放射線発熱と全く同様に取扱うことができ、現在、中性子に関する損傷関数のコード化を行なっており、近い将来には本システムに組込まれるであろう。これに関しては別に報告する予定である。

最後に本コードシステムの開発にあたって、中性子群定数の作成に関して核設計研究室長桂木学氏に、TWO TRANの利用に関して数値解析研究室筒井恒夫氏に、ガンマ線減衰係数に

関して遮蔽研究室田中俊一氏に、POP4ライブリの検討に関して同じく笠本宣雄氏に、  
FCAの実験解析に関して高速炉物理研究室飯島勉氏および遮蔽研究室古田悠氏の諸氏に色々  
御協力いただいたことを記し感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 東原義治 ; 日本原子力学会誌, 13, 400 (1971)
- 2) Summary Report on the Physics Problems of Reactor Shielding , ENEA/IAEA, Shielding Specialist Meeting , Paris (1970)
- 3) Engle W.W. Jr ; "A USERS MANUAL FOR ANISN:A one Dimensional Discrete Ordinates Transport Code With Anisotropic Scattering , " K-1963 (1967)
- 4) Mynatt P.R. , "Development of Two-Dimensional Discrete Ordinates Transport Theory for Radiation Shielding", K-1694 (1969)
- 5) Lathrop K.D. et al ; "Theory and Use of the General - Geometry TWOTRAN Program", LA-4432 (1970)
- 6) Ford W.E. III, Wallace D.H. ; "POPOP4, A Code for Converting Gamma-Ray Spectra to Secondary Gamma-Ray Production Cross Sections ", CTC-12 (1969)
- 7) Wright R.Q. et al ; "SUPERTOG:A Program to Generate Fine Group Constant and Pn Scattering Matrices from ENDF/B ", ORNL-TM-2679 (1969) , ORNL-RSIC Code Package , PSR-13.
- 8) Lathrop K.D. ; "GAMLEG-A Fortran Code to Product Multigroup Cross Sections for Photon Transport Calculations ", LA-3267 (1965)
- 9) 伊勢武治, 堀上邦雄 ; "熱群炉定数作成コード", THERMOS-MUG, JAERI-memo 4394 (1971)
- 10) Drake M.K. ; "Data Formats and Procedures for the ENDF Neutron Cross Section Library ", BNL-50274 (T-601, TID-4500) (1970)
- 11) Lindhard J. et al ; Mat. Fys. Meld. Dan. Vid. Selsk. , 33 , No.10 (1963)
- 12) ORNL-RSIC Data Library Collection , DLC-12(1971)
- 13) Ford W.E. III ; "The POPOP4 Library of Neutron- Induced Secondary Gamma-Ray Yield and Cross Section Data ", CTC-42 (1970)
- 14) Ford W.E. III, Wallace D.H. ; "The Use and Testing of Al, Fe, Ni, Cu and Pb Secondary Gamma-Ray Production Data Sets from the POPOP4 Library ", CTC-20 (1970)
- 15) Hubbell J.H. ; "Photon Cross Sections , Attenuation Coefficients , and Energy Absorption Coefficients from 10 KeV to 100 MeV," NSRDS-NBS29 (1969)
- 16) Davisson C.M. , Evans R.D. ; Rev. Mod. Phys. , 24 (2) 99 (1952)
- 17) Siegban K. Edited ; "Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy ", p 26 , Inter. Pub. Inc., (NY) (1955)
- 18) Storm E. , et al ; "Photo Cross Sections from 0.001 to 100 MeV for

Elements 1 through 100 ", LA-3753 (1967)

19) Berger R.T. ; Radiation Research, 15,1 (1961)

20) Nelms A.T. ; "Graphs of the Compton Energy - Angle Relationship and the Klein - Nishina Formula from 10 KeV to 500 MeV", NBS-Circular 542

21) Grodstein G.W. ; "X-ray Attenuation Coefficients from 10 KeV to 100 MeV", NBS-Circular 583 (1957)

22) Ritts J.J. et al ; "KERMA Factor and Secondary Gamma-Ray Sources for Some Elements of Interest in Thermonuclear Blanket Assemblies", ORNL-TM-2564 (1970)

23) Abdou M.A. et al ; "MACK, A Program to Calculate Neutron Energy Release Parameters and Multigroup Neutron Reaction Cross Sections from Nuclear Data in ENDF Format", ORNL-TM-3994 (1972)

24) Keepin G.R. ; "Physics of Nuclear Kinetics" p.13, Addison-Wesley (1965)

25) 理科学辞典, 第3版, 岩波書店 (1971)

26) 宮坂, 田次, 他 ; 第1回トピカルミーティング報文集, B 10, 日本原子力学会 (1973)

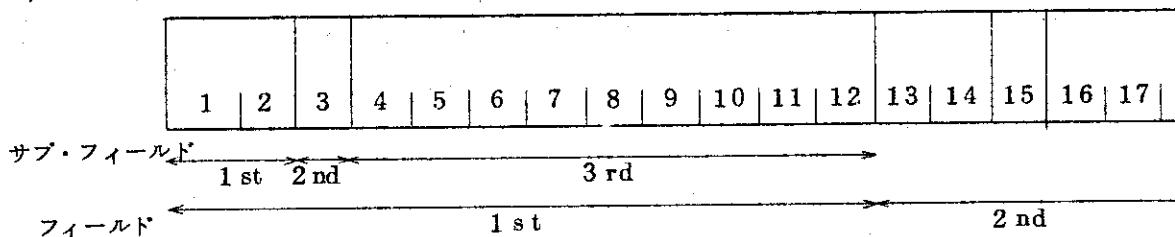
27) 宮坂, 田次, 他 ; 昭和49年日本原子力学会年会要旨集, 第1分冊, D 58 (1974)

28) 溝尾, 他 ; 私信

29) 洲崎, 他 ; 私信

## APPENDIX A FIDO フォーマットの説明

1枚のカードは12文字よりなる6つのデータ・フォーマットに分けられ、1つのデータ・フィールドはさらに下図のごとく3つのサブ・フィールドに分けられる。



始めの2つのサブ・フィールドは、第3サブ・フィールドに書かれたデータの役割を決定する。第1サブ・フィールドにはブランクまたは1~99の整数が入り、第2サブ・フィールドにはブランクまたは¥, \*, R, I, T, S, F, A, +, - のオペレータが入る。

ブランクのフィールドは無視される。したがって、カード上のすべてのフィールドを用いる必要もなく、ブランクカードがあっても無視される。

入力に必要な各々のデータ配列は、第1サブ・フィールドの2文字によって区別される。データには整数と実数があり、整数は第2サブ・フィールドの¥によって、実数は\*によって区別される。第2サブ・フィールドに用いられるオペレータには以下のものがある。

¥ : 整数のデータ配列の始まりを示す。第1サブ・フィールドには配列を識別する数字が必要である。

\* : 実数のデータ配列の始まりを示す。第1サブ・フィールドには配列を識別する数字が必要である。

R : 第3サブ・フィールドのデータを第1サブ・フィールドに書かれた数だけ繰り返して入力することを示す。

I : 第3サブ・フィールドのデータと次のフィールドの第3サブ・フィールドのデータとを範囲として内挿を行なう。内挿される点の数は第1サブ・フィールドの数により示される。

T : 1つのデータ・ブロックの終了を示す。1枚のカード上では T のあとに続くフィールドのデータは無視される。

S : スキップを示す。第1サブ・フィールドの数がスキップされる回数を示し、第3サブ・フィールドの値はスキップのあとに入るデータを示す。

F : データ配列の残りをすべて第3サブ・フィールドに示されたデータで満す。

A : データ配列を特別のアドレスに位置される時に用い、そのアドレスは第3サブ・フィールドの値によって示す。第1サブ・フィールドはブランクである。

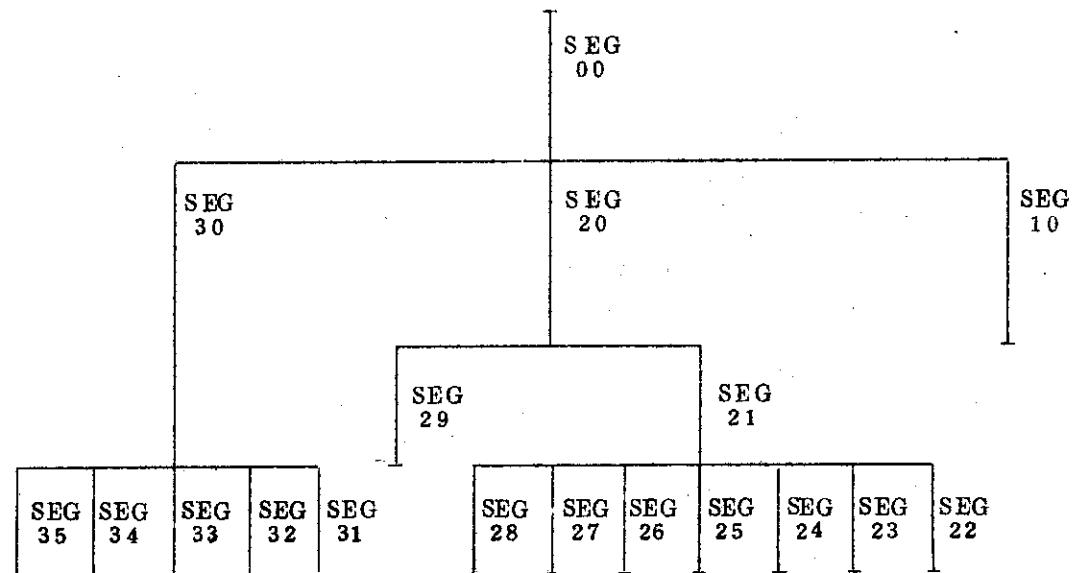
+,- : べき乗を示す。第3サブ・フィールドの値に  $10^{\pm N}$  が掛けられる。ただし、Nは第1サブ・フィールドの値である。このオプションにより、有効数字9桁の数まで表現できる。

FIDOフォーマットを使用するときの制限を以下に示す。

1. フィールドがブランクのときは無視される。

2. 内挿のオペレータ 'I' を用いるときは、次のフィールドはブランクまたはオペレータ 'A' であってはならない。
3. ¥または\*を含むフィールドの第3サブ・フィールドに整数Nを入れてもよい。この場合は、次のデータの入力はデータ配列の( N + 1 )番目の位置から始まる。普通は第3サブ・フィールドはブランクにする。
4. すべてのデータ配列は正確な個数を入力せねばならない。データ配列は次の新しいデータ配列の始まりかまたはオペレータ T により終了する。

## APPENDIX B 核データファイル作成コードのオーバーレイ構造



SEG 00 ————— MAIN PROGRAM

SEG 10 ————— THERMOS - JR

SEG 20 ~ SEG 29 ————— SUPERTOG - V3 - JR

SEG 30 ————— DATA AREA

SEG 31 ————— POPOP4 - JR

SEG 32 ————— GAMLFG - JR

SEG 33 ————— NEHEAT

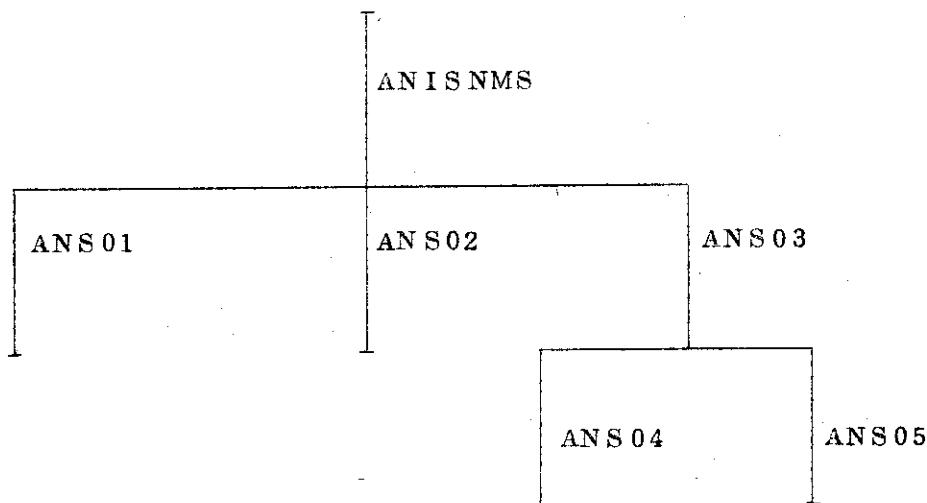
SEG 34 ————— TOTAL COUPLE

SEG 35 ————— GROUP INDEPENDENT

## APPENDIX B (continued)

NAME RADHEAT, ENTRY=ELM(CFTMAIN)  
 DOMAIN HCM, RWX, OVLY  
 \* PGSLIB  
 CALL PRVLIB  
 SGMT SEG00  
 SELECT (CFTMAIN, PRNAME, FIDOOXX)  
 SGMT SEG10, CHN=SEG00  
 SELECT (THERMS, XSTOP, XPREP, MERGE, GEOMR, GEOMX, EI, SLABK, ITER, RELAX, /  
       EDIT1, EDPPREP, EDIT3, PIJCON, TACKLE)  
 SGMT SEG20, CHN=SEG00  
 SELECT (SPTOG)  
 SGMT SEG21, CHN=SEG20  
 SELECT (CTOUG, TPOS, LIST, CONT, TAB1, TAB2, SAVE, XTND, AVRG, FETCH, STORE, \*  
       ERROR, ERK, CRAV, GPAV, ADD, CUMB, SUB, MULT, DIV, TERP, TERP1,  
       TERP2, LRIDS, FPDS, IPDS, TERPO, COMBP, GRATE, ECST, DELETE, TMF3)  
 SGMT SEG22, CHN=SEG21  
 SELECT (TMF1, EU, ZERO, ININ, TRID, TMAT, HOLL, GENT1, OUT1, KERN, FISS, \*  
       CHECK, SKFFIL)  
 SGMT SEG23, CHN=SEG21  
 SELECT (RESS, TMF2, MASH, VOGAM, TDEGK)  
 SGMT SEG24, CHN=SEG21  
 SELECT (RESR, XSRT, RESU, FJ, OLAG, INTER)  
 SGMT SEG25, CHN=SEG21  
 SELECT (CRUS, OUT6, HSCAT, OUT3, OUT4)  
 SGMT SEG26, CHN=SEG21  
 SELECT (TRANS, GUTS, GRID, BAST, GADD, TMF4, R0W8, R0W9, LEGM, INTERP, \*  
       SUBNW4, PTOFL, PINTEG, SIMPSN, LEGDD, TABLT2)  
 SGMT SEG27, CHN=SEG21  
 SELECT (IMAT, RENO, OUT5, SPEC, XSP4, TMF5, INF5, CWAX, PUTW, INELAS, LFONE, \*  
       SUBNW1, AVG, SUBNW3)  
 SGMT SEG28, CHN=SEG21  
 SELECT (GOUT, PCUT, ADIE, HELGA, IAND, ZAID, IOR, MASK, ENDFZA)  
 SGMT SEG29, CHN=SEG20  
 SELECT (SNOUT, DRAG, ORDER)  
 SGMT SEG30, CHN=SEG00  
 SELECT (FIDO, WOT, PUNSH, FLTFX, DTFPUN, FIDO(POP4))  
 SGMT SEG31, CHN=SEG30  
 SELECT (POPOP4, BINEN, FILLY, GAMCOL, GENPRO, LASTCL, LIBRD, OUTPUT, /  
       PHAKE, PHASE1, PHONY, PLABEL, PUN, SFILLY, SPCASE, TENIPM, TMP4, /  
       TRANSP, WEASEL, YIELD, ERR1, KDMULT, MULT9)  
 SGMT SEG32, CHN=SEG30  
 SELECT (GAMLEG, GAMS, CROSS, POTO, P06MV1, FUNC1, FUNC2, PAIR, COHER, AL, /  
       SIGMAS, SIGLEG, NROW, INTFT, INTFK, COMPT, PC, POT03)  
 SGMT SEG33, CHN=SEG30  
 SELECT (NEHEAT, HATSU)  
 SGMT SEG34, CHN=SEG30  
 SELECT (TCUP, FRM)  
 SGMT SEG35, CHN=SEG30  
 SELECT (GRPIN, MRGXS)  
 FIN

## APPENDIX C ANISN-JRコードのオーバレイ構造



ANSMS ——— FTMAIN, CLEAR, CONTRL, ERRO, WOT, SPIE,  
ITIME, CLOCK, ADDR, ITIME

ANS01 ——— PLSNT, FIDO, TP, ADJNT, S804, S805, S814,  
S966, WOT8

ANS02 ——— GUTS, S807, S810, S821, S824, S833, DT,  
CELL, S851

ANS03 ——— FINPR, FINPR1, PUNSH, DTFPUN, FLTFX,  
NWSUB1, NWSUB2, ERRMSG, ACTPRT, WOTYT

ANS04 ——— BT, SUMARY, FACTOR, NWSUB3

ANS05 ——— FEWG, WATE