

JAERI-M

5991

GGC-4コードによる多群定数作成と  
その検討

1975年2月

筒井 恒夫・伊勢 武治

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、複製などのお問い合わせは、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.

GGC-4コードによる多群群定数作成とその検討

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

筒井恒夫・伊勢武治

(1975年1月28日受理)

GGC-4コードのUNIVAC版からFACOM版への変換が済んだので、その内容の検討と使用方法についてまとめた。GGC-4は、GAで開発した熱中性子炉用の群定数作成コードである。B<sub>N</sub>近似によって解かれた、高速中性子領域(GAMコード)と熱中性子領域(GATHERコード)を連結(COMBOコード)して、ひとつのプログラムパッケージとし、原子炉設計計算の為に群定数をカード出力させる。この群定数は、標準的な輸送計算コードおよび拡散計算コードの入力形式と同じである。一般の原子炉計算に必要な核種を含む断面積ライブラリーと一緒に用意されている。代表的ないくつかの使用例も付けておいた。ここに紹介されているすべてのプログラムはR・B DISK(永久)に登録されている。

Multigroup Cross Section Production by the GGC-4 Computer Code

Tsuneo TSUTSUI and Takeharu ISE

Division of Reactor Engineering, Tokai, JAERI

(Received January 28, 1975)

Usage of the GGC-4 multigroup cross section code is described, which has recently been converted from the UNIVAC version to the FACOM. The GGC-4 is a computer code for producing the multigroup cross sections for use in the nuclear design calculations of thermal reactors. This program package consists of the GAM code to deal with fast neutron transport in the  $B_N$  approximation, the GATHER code for thermal neutrons and the COMBO code for combining these two codes.

The multigroup cross sections are produced by the GGC-4 code in the same format as required for the inputs of standard transport and diffusion computer codes. In addition, the cross section library is ready for use of a sufficient number of nuclei for normal nuclear reactor calculations.

Some typical examples are given for easy access to the present GGC-4 code. All the programs explained in this report are registered in the permanent RB disks of JAERI for users.

## 目 次

1	はじめに	1
2	中性子スペクトラムの方程式	5
2.1	輸送方程式	5
2.2	$P_N$ 近似	6
2.3	$B_N$ 近似	6
2.4	$B_N$ 近似と $P_N$ 近似について	7
2.5	GAMにおけるスペクトラム方程式の解法	7
2.6	GATHERへの減速中性子源	9
2.7	GATHERにおけるスペクトラム方程式の解法	12
2.8	GAMとGATHERの連結	14
2.9	空間モーメント	15
2.10	時間モーメント	16
3	縮約断面積の計算	19
3.1	輸送断面積の定義	19
3.2	GAMの縮約断面積	19
3.3	GATHERの縮約断面積	22
3.4	散乱マトリックスの連結	24
4	共鳴断面積の計算	26
4.1	Doppler 共鳴の計算	26
4.2	分離共鳴の計算	27
4.2.1	共鳴積分に対する主な寄与の計算	27
4.2.2	共鳴レベルの裾の補正	30
4.2.3	エネルギーグループ毎の共鳴断面積および実効共鳴積分	31
4.3	非分離共鳴の計算	32
4.3.1	非分離共鳴の共鳴積分	32
4.3.2	エネルギーグループ毎の共鳴断面積	34
5	GGU-4 コードの入力	36
5.1	GAMとGATHERにおけるエネルギー構造	36

5.2	GGC-4コードの特徴と制限範囲	37
5.3	断面積ライブラリー	40
5.4	入力形式と使用例	40
5.5	出力カードと群定数セット作成上の注意	42
5.5.1	拡散コードに対する出力断面積形式	42
5.5.2	輸送コードに対する出力断面積形式	44
5.6	フローチャートの概要とエラーメッセージ	45
6	補助プログラム	88
6.1	GAM用補助プログラム	88
6.1.1	入力に関する注意事項	88
6.1.2	マスターデータテープの作成; MAKEコード	92
6.1.3	ワーキングデータテープの作成; MSTコード	92
6.1.4	合金物質の作成; MIXERコード	92
6.1.5	データテープの内容のプリント; FPRINTコード	93
6.2	GATHER用補助プログラム	94
6.2.1	入力に関する注意事項	94
6.2.2	マスターデータテープの作成; WTFGコード	96
6.2.3	ワーキングデータテープの作成; MGTコード	100
6.2.4	合金物質の作成; COMBINコード	100
6.2.5	データテープの内容のプリント; SPRINTコード	100
6.2.6	共鳴断面積の計算; DOPコード	100
7	あとがき	135
8	文 献	136
付録A	Dancoff 係数の計算コード	139
" B	GGCコードの出力カードからGURNETおよびEXTERMINATOR-2 コード用の入力カードへ変換するプログラム	141

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Equations for Neutron Spectra .....	5
2.1 Transport Equation .....	5
2.2 $P_N$ Approximation .....	6
2.3 $B_N$ Approximation .....	6
2.4 Discussions about $B_N$ and $P_N$ Approximations .....	7
2.5 Algorithm for Slowing Down Equation in GAM Code .....	7
2.6 Slowing Down Sources to GATHER Code .....	9
2.7 Algorithm for Spectrum Equation in GATHER Code .....	12
2.8 Matching between GAM and GATHER Spectrum .....	14
2.9 Spatial Moment Calculations .....	15
2.10 Time Moment Calculations .....	16
3. Condensations of Multigroup Cross Sections .....	19
3.1 Definitions of Transport Cross Sections .....	19
3.2 Collapsed Cross Sections in GAM Code .....	19
3.3 Collapsed Cross Sections in GATHER Code .....	22
3.4 Connection of Scattering Matrices .....	24
4. Calculations of Resonance Cross Sections .....	26
4.1 Doppler Resonance Calculations .....	26
4.2 Resolved Resonance Calculations .....	27
4.2.1 Algorithm for Main Part of Resonance Integrals .....	27
4.2.2 Wing Correction .....	30
4.2.3 Multigroup Resonance Cross Sections and Effective Resonance Integrals .....	31

4.3	Unresolved Resonance Calculations	3 2
4.3.1	Resonance Integrals for Unresolved Resonances	3 2
4.3.2	Multigroup Resonance Cross Sections	3 4
5.	Input of GGC-4 Code	3 6
5.1	Energy-Group Structures for GAM and GATHER Codes	3 6
5.2	Characteristics and Limitations of GGC-4 Code	3 7
5.3	Cross Section Libraries	4 0
5.4	Input Formats and Examples	4 0
5.5	Output Cards and Remarks	4 2
5.5.1	Output Cross Section Formats for Diffusion Codes	4 2
5.5.2	Output Cross Section Formats for Transport Codes	4 4
5.6	Program Flow Charts and Error Messages	4 5
6.	Auxiliary Computer Programs	8 8
6.1	Auxiliary Programs for GAM Code	8 8
6.1.1	Notes on Input Data	8 8
6.1.2	MAKE Code for Production of Master Data Tapes	9 2
6.1.3	MST Code for Production of Working Data Tapes	9 2
6.1.4	MIXER Code for Creation of Alloy Mixtures	9 2
6.1.5	FPRINT Code for Print Output of Data Tapes	9 3
6.2	Auxiliary Programs for GATHER Code	9 4
6.2.1	Notes on Input Data	9 4
6.2.2	WTFG Code for Production of Master Data Tapes	9 6
6.2.3	MGT Code for Production of Working Data Tapes	10 0
6.2.4	COMBIN Code for Creation of Alloy Mixtures	10 0
6.2.5	SPRINT Code for Print Output of Data Tapes	10 0
6.2.6	DOP Code for Computation of Resonance Cross Sections	10 0



7. General Remarks on GGC-4 Code .....	135
8. References .....	136
Appendix A Computer Code for Dancoff Correction Factors .....	139
Appendix B Computer Code for Creation of GURNET and EXTERMINATOR-2 Input Cards from GGC-4 Diffusion Cards .....	141

## 1 はじめに

プログラムGGC-4<sup>1)</sup>は、拡散および輸送コードの為の多群定数を作成するコード群のパッケージである。

多群断面積セットの計算は、核種 (isotopes) および混合物質 (compounds) に対するエネルギー依存のマイクロ断面積の計算から始まる。0~14.9 MeVのエネルギー範囲で、必要とされる断面積、 $\sigma(n, \gamma)$ 、 $\sigma(n, \text{fission})$ 、 $\sigma(n, n')$ 、 $\sigma(n, 2p)$ 、 $\sigma(n, p)$ 、 $\sigma(n, \alpha)$ 、 $\sigma(n, 2\alpha)$ 、 $\sigma(n, 2n)$ 、弾性散乱断面積、 $\nu$ 、などが用意されている。これらの核データは、豊富な実験結果および理論計算から、評価され、まとめられたものである。一般には、これらのデータは、微細エネルギー群 (熱中性子領域 (GATHERコード) として、0~238 eV間の101エネルギー点、および、高速中性子領域 (GAMコード) として、238 eV~14.9 MeV間の99エネルギー点) に対して、用意されている。上に述べた断面積のいくつかは、顕著な微細構造を示し、微細エネルギー群に対しては、平均断面積として、まとめられている。普通は、共鳴断面積は共鳴パラメータを用いて求められる。

高速中性子および熱中性子領域では、断面積ライブラリーデータテープ<sup>\*1)</sup>として、微細エネルギー群の核データを持っている。我々が、実際にGGC-4を用いるときに、これらのライブラリーテープを直接用いることは、得策なことではないので、解析すべき原子炉が定まると、核種の数が定まるので、簡便の短いワーキングデータテープ (working data tapes) を補助プログラムを用いて作成するとよい。これらのプログラムは、他のいくつかの目的をも持っている。すなわち、新しいデータと取り替えたり、データをプリントしたり、合金のデータを作ったりすることである。微細エネルギー群断面積のワーキングデータテープが、原子炉設計に必要な核種すべてを含むものとして準備されると、次は、原子炉に対するエネルギー依存の中性子束計算が必要となる。このスペクトル計算の入力としては、核種濃度、バックリング、共鳴積分の計算のときに用いられる温度、自己遮蔽因子および体系の種類などが必要である。

スペクトラム計算は次の2つのステップに分けられる：高速スペクトラム計算は、GGC-4の高速中性子領域 (GAM section) で行われ、熱中性子スペクトラム計算は、GGC-4の熱中性子領域 (GATHER section) で行われる。共鳴吸収計算は、GAMセクションでのみ取り扱われ、上方散乱は、GATHERセクションでのみ取り扱われる。中性子のエネルギー変化を求めるには、Boltzmann 中性子輸送方程式を解くことが必要であるが、ここでは、この方程式に対して、簡単で経済的な近似解法を採用していて、それは次の主な仮定から成っている。

- (1) 空間依存は、エネルギー依存のないバックリングのみを入力することによって考慮される。
- (2) 角度依存 (非等方性) 中性子スペクトラムは、 $P_N$  あるいは  $B_N$  近似で表示される。

\*1) GGAで作成した本来のマスターライブラリーは公開されていない。

これら空間および角度に対する近似がなされると、Boltzmann 方程式は、エネルギーに関する連立積分型方程式となる。

GGC-4 コードの高速中性子領域は、一般に GAM と呼ばれていて、共鳴積分の計算で始まる。共鳴積分の結果は、詳細エネルギー群の吸収および核分裂断面積を補正する。次に、微視断面積に自己遮蔽因子を適用して高速スペクトラム計算に対する詳細エネルギー巨視断面積が作られる。核分裂スペクトラムは Fast data tape から読み込まれる。そして、高速中性子スペクトラムが  $P_1$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ , あるいは  $B_3$  近似を用いて計算される。この計算は、上方散乱が含まれてないので、高いエネルギーグループから低いエネルギーグループへと非反復的に解かれる。縮約エネルギーグループについて、中性子束あるいは中性子流で平均化されたマイクロ断面積およびマクロ断面積が求められ、これらは、Fast results tape に書かれて、次の COMBO セクションで用いられる。これらの結果もまたプリントされる。熱中性子スペクトラム計算に対する中性子源は、スクラッチテープに保存されるかカードパンチされる。スペクトラム計算を行う替りに、中性子束および中性子流を入力して、平均断面積を求めることもできる。GAM セクションで行われた連続ケース<sup>\*2)</sup>の結果は、その順に Fast results tape に書かれる。核種濃度のみ、あるいは、縮約エネルギーグループ構造のみ、の変更をしての計算も可能である。

GGC-4 コードの熱中性子領域は、一般に GATHER セクションと呼ばれていて、熱エネルギー領域の上限からゼロエネルギーまでのスペクトラム計算を行う。計算は次の手順で行われる。まず、熱中性子スペクトラム計算に対して、微細エネルギー巨視断面積が計算される（その際、自己遮蔽因子を考慮することもある）。中性子源は、GAM セクションで計算して、テープか、またはカードになっているものから読み込むか、あるいは、この GATHER セクションの中で計算して求めるか、いずれかである。スペクトラム計算は、 $P_0$ ,  $P_1$ ,  $B_0$ , あるいは  $B_1$  近似によって行われる。この計算は、上方散乱および下方散乱を含むので、反復法が適用されている。微細エネルギーのマイクロ断面積とマクロ断面積は、縮約エネルギーグループについて、中性子束および、中性子流による平均操作で求められる。縮約エネルギーグループ平均の断面積と散乱マトリックスは、核種濃度等と共に、Thermal results tape に書き込まれる。スペクトラム計算をしないで、コード使用者が、中性子束と中性子流を読み込ませるか、あるいは、Maxwell スペクトラムを用いるか、のいずれかの選択もできる。連続ケース<sup>\*2)</sup>の計算の結果は、その順番に、Thermal results tape に書き込まれる。粒種濃度のみ、あるいは、縮約エネルギーグループ構造のみ等の変更をしてのスペクトラム計算も可能である。

COMBO セクション (Combining section) は、既に用意された Fast results tape を用いて、高速中性子グループと熱中性子グループとの連結 (matching) を行うプログラムである。この結果、縮約エネルギーグループのマイクロ断面積あるいはマクロ断面積が標準的な輸送コードおよび拡散コードの入力形式として、カードパンチされる。また、マイクロ断面積を

\*2) 現在の FACOM では計算機の機能上連続ケースはできないが、Fartan-H が使えるようになれば、連続ケースが可能となる。

合成して、混合物質のマクロ断面積をつくることもできる。しかし、一般には、物質が異なれば、異った中性子スペクトラムとなるので、この合成には充分注意すべきであろう。尚 GGC-4 の大体の流れを Fig. 1.1 に示しておいた。

初めて、GGC-4 コードを使用する読者は、まず、GGC-4 本体の概要（第 2 章～第 4 章）を把んでから、次に補助コード群についての知識（第 6 章）を得た後、入力準備（第 5 章）をするとよい。すぐ GGC-4 コードを用いたい読者は、第 6 章、第 5 章の順で読むとよい。既にワーキングデータの用意ができている読者は第 5 章のみ読むことで、入力準備ができると思う。

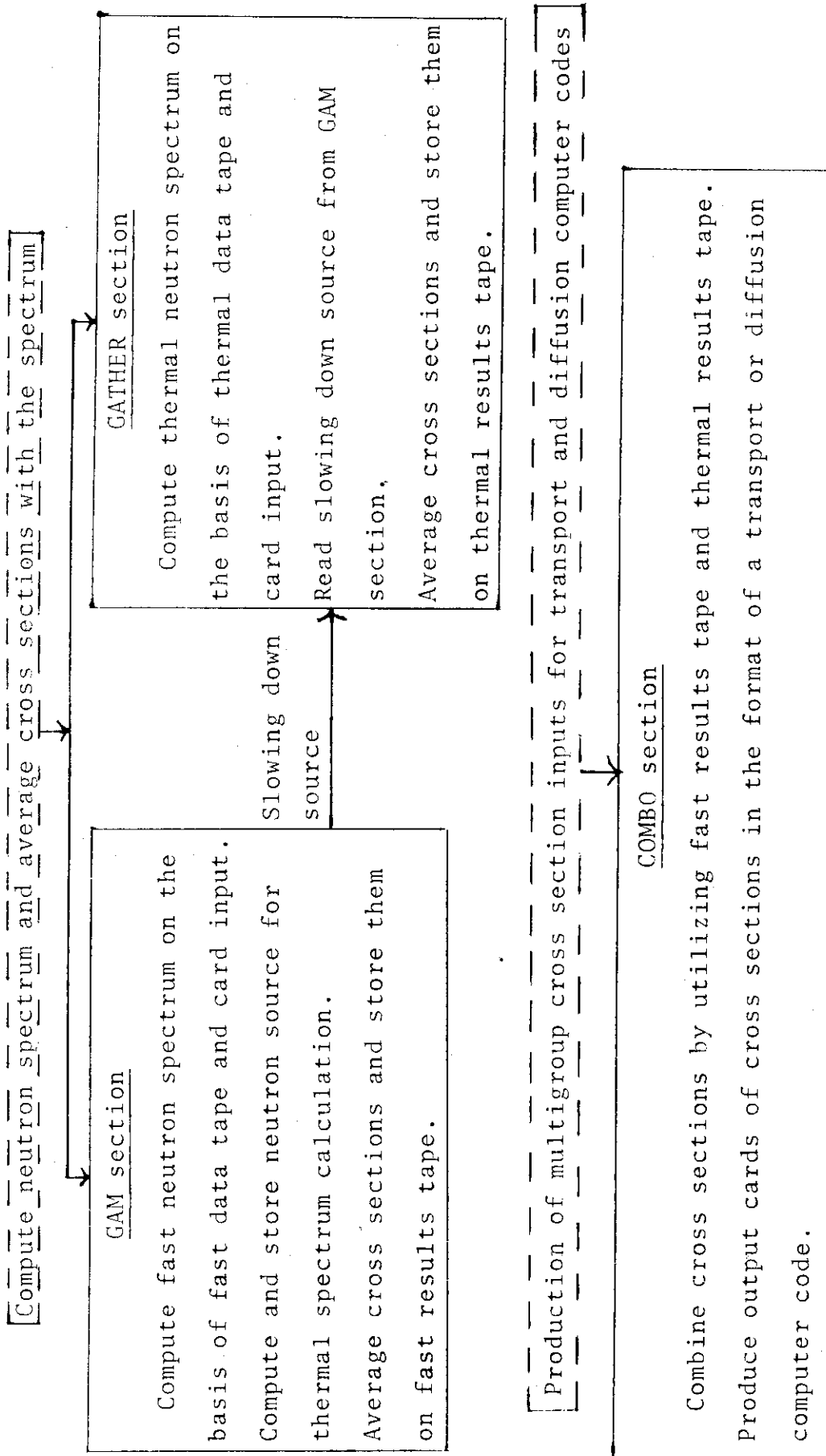


Fig. 1.1 Overall flow chart of GGC-4 code

## 2 中性子スペクトラムの方程式<sup>1)</sup>

GGC-4コードの中では、 $B_N$ 近似あるいは $P_N$ 近似によって、角度中性子束のエネルギー依存性を求める。また、中性子束の空間モーメントおよび時間モーメントを計算することもできる。この節では、これらについて述べることにする。

### 2.1 輸送方程式

こゝでは、 $P_N$ 近似および $B_N$ 近似に共通な説明をしておく。どちらの方法も角度依存性およびエネルギー依存性は考慮する。空間依存性は、バックリング( $B^2$ )によってのみ記述される。

時間に依存しない輸送方程式は：

$$\begin{aligned} \Omega \cdot \nabla \phi(\mathbf{r}, E, \Omega) + \Sigma_t(\mathbf{r}, E) \phi(\mathbf{r}, E, \Omega) \\ = \int_0^\infty dE' \int_0^{4\pi} d\Omega' \Sigma_s(\mathbf{r}, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) \phi(\mathbf{r}, E', \Omega') + S(\mathbf{r}, E, \Omega) \end{aligned} \quad (2.1)$$

こゝで、 $\phi(\mathbf{r}, E, \Omega)$ は、 $E$ のまわりの単位エネルギー当り、 $\mathbf{r}$ での単位体積当り、 $\Omega$ での単位立体角当り、の角度依存中性子束であり、 $\Sigma_t(\mathbf{r}, E)$ は、マクロ全反応断面積であり、 $\Sigma_s(\mathbf{r}, E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega)$ は、マクロ断面積表示で、 $dE' d\Omega'$ の位相空間体積から $dE d\Omega$ の位相空間への散乱を表わす。 $S(\mathbf{r}, E, \Omega)$ は、中性子源を示している。

こゝでは議論を簡単化する為に板状体系で説明して行く。(2.1)式は次の形に書ける：

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial}{\partial x} \phi(x, E, \mu) + \Sigma_t(E) \phi(x, E, \mu) \\ = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2n+1}{2} P_n(\mu) \int_0^\infty dE' \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \int_{-1}^1 d\mu' P_n(\mu') \phi(x, E', \mu') \\ + \frac{S_0(x, E)}{2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

こゝで、 $\mu$ は、 $\Omega$ の $x$ 軸に沿った成分であるとし、断面積は空間に依存しないとし、中性子源は等方成分のみであるとした。 $P_n(\mu)$ はLegendre関数である。また、

$$\Sigma_s(E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2n+1}{4\pi} P_n(\mu_0) \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \quad (2.3)$$

こゝで、 $\mu_0 = \cos(\Omega' \cdot \Omega)$ 。

今、(2.2)式で示されている中性子束および中性子源は、空間依存性を体系からの洩れ(すなわち、バックリング)のみで表示できると考えると、次式で表わすことができる：

$$\begin{aligned} \phi(x, E, \mu) = \text{Re} [\phi(E, \mu) e^{-iBx}] \\ S(x, E) = \text{Re} [S_0(E) e^{-iBx}] \end{aligned} \quad (2.4)$$

ここで、 $\text{Re}$  は実数部を示す。この式を (2.2) 式に代入して次式が得られる。

$$\begin{aligned} & [\Sigma_t(E) - iB\mu] \phi(E, \mu) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2n+1}{2} P_n(\mu) \int_0^{\infty} dE' \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \int_{-1}^1 d\mu' P_n(\mu') \phi(E', \mu') \end{aligned} \quad (2.5)$$

この式で用いた  $B$  は、結局、中性子束および中性子源のフーリエ変換の変数とみなすことができる。 $B^2$  は、次式で示される幾何学的バックリングを示している：

$$B^2 = \frac{-\int \int dE d\mathbf{r} \Delta \phi_0(\mathbf{r}, E)}{\int \int dE d\mathbf{r} \phi_0(\mathbf{r}, E)} \quad (2.6)$$

ここで、 $\phi_0$  は、等方成分中性子束を示し、積分は、全空間についてである。

$P_N$  近似および  $B_N$  近似については 2.2 節および 2.3 節で述べるが、 $B^2 > 0$  のときのみで、記述の展開には充分と思われるので、 $B^2 < 0$  のときは割愛する。

## 2.2 $P_N$ 近似

(2.5) 式に  $i^{-n} P_n(\mu)$  を掛けて  $\mu$  について積分すると、中性子の Legendre 成分に対する輸送方程式を得る：

$$\begin{aligned} & B(n+1) \phi_{n+1}(E) - Bn \phi_{n-1}(E) + (2n+1) \Sigma_t(E) \phi_n(E) \\ &= (2n+1) \int_0^{\infty} dE' \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \phi_n(E') + S_0(E) \delta_{n0} \\ & , n=0, 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (2.7)$$

ここで、

$$\phi_n(E) = (i)^{-n} \int_{-1}^1 P_n(\mu) \phi(E, \mu) d\mu \quad (2.8)$$

(2.7) 式をみると、 $N+1$  個の方程式に対して  $N+2$  個の未知数を含んでいる。そこで、 $\phi_{N+1} = 0$  と置いて、これらの方程式を解く方法が、 $P_N$  近似である。 $N$  が大きいところでは、 $\phi_N$  が小さくなり  $P_N$  近似がより正確な近似となる。また、散乱マトリックスについては特別の仮定はないが、 $N$  が大きい高いオーダーの散乱は物理的に重要でなくなってくる。

$P_1$  近似は  $B_1$  近似より簡単に導かれるので、 $B_1$  近似の説明のときに述べる。

## 2.3 $B_N$ 近似

(2.5) 式を  $1 - iy\mu$  ( $y = B/\Sigma_t(E)$  とおいて) で割って、 $i^{-m} P_m(\mu)$  を掛けて、 $\mu$  について積分すると次の輸送方程式が得られる：

$$\begin{aligned} & \Sigma_t(E) \phi_m(E) = \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) A_{mn}(y) \int_0^{\infty} dE' \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \phi_n(E') + A_{m0}(y) S_0(E) \\ & , m=0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2.9)$$

ここで、 $A_{mn}(y)$ は：

$$A_{mn}(y) = \frac{i^{n-m}}{2} \int_{-1}^{+1} \frac{P_m(\mu)P_n(\mu)d\mu}{1-iy\mu} \quad (2.10)$$

そして、 $\phi_n(E)$ は、(2.8)式で既に定義されているものである。

(2.9)式は、 $m$ が大きくなると急速に収束するので、 $m > N$ に対して $\phi_m = 0$ とおくこと  
によって、数値的に式を解くことができる。これが $B_N$ 近似である。

(2.9)式と(2.10)式から $N=1$ とにおいて $B_1$ 近似の式が得られる：

$$B\phi_1(E) + \Sigma_t(E)\phi_0(E) = \int_0^\infty \Sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E)\phi_0(E')dE' + S_0(E) \quad (2.11)$$

$$-B\phi_0(E) + 3r(E)\Sigma_t(E)\phi_1(E) = 3 \int_0^\infty \Sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E)\phi_1(E')dE' \quad (2.12)$$

ここで、

$$r(E) = y^2 \frac{A_{00}}{3(1-A_{00})} \quad (2.13)$$

$P_1$ 近似の式は、 $B_1$ 近似の式で、 $r(E) = 1$ と置いて得られるものと一致する。

## 2.4 $B_N$ 近似と $P_N$ 近似について

$B_N$ 近似と $P_N$ 近似との基本的な差は、 $P_N$ 近似は、 $N+1$ の方程式で打ち切って、中性子束、散乱マトリックスおよび中性子源を近似し、一方、 $B_N$ 近似は散乱マトリックスと中性子源のみを打ち切り、中性子束は一応厳密に取り扱われている。散乱は一般に重心系では、等方に近いし、中性子源が核分裂によるものとすれば、これも等方的であるので、 $B_N$ 近似は収束が早い。しかしながら、 $P_N$ 近似では、実際の(真空のような)境界条件への拡張が可能であるのに対し、 $B_N$ 近似では、(2.10)式でみるように特異点を有し、また、バックリングで有限体系を考慮する。

一般には、空間とエネルギーとの分離性が良ければ、 $B_N$ 近似の方が正確である。特に小さな体系であつたり吸収があつたりするときには適切である。体系が大きいときや、吸収が小さい体系では $P_1$ 近似などで充分と思われる<sup>7)</sup>。 $P_3$ 近似をとつても、 $B_1$ 近似には及ばないときもあり、体系の大きさとの関係も調べられている<sup>10)</sup>。

## 2.5 GAMにおけるスペクトラム方程式の解法

(2.7)式および(2.9)式を解くときには、エネルギーに関する連続な式より、エネルギー点(GAMでは、100エネルギー点で99エネルギーグループ、GATHERでは101エネルギー点)の離散的な式が必要である。 $B_1$ 近似の式では次の形となる：



$$\left. \begin{aligned} B \phi_i^1 + \Sigma_{t,i} \phi_i^0 &= \sum_j \Sigma_{ij}^{(0)} \phi_j^0 \Delta_j + S_i^0 \\ -|B| \phi_i^0 + 3r_i \Sigma_{t,i} \phi_i^1 &= 3 \sum_j \Sigma_{ij}^{(1)} \phi_j^1 \Delta_j \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

ここで、エネルギーグループ  $i$  の中性子束の  $m$  成分は<sup>\*</sup>、次式で与えられる；

$$\left. \begin{aligned} \phi_i^{(m)} &= \frac{\int_{E_{i+1}}^{E_i} \phi_m(E) dE}{\Delta_i} \\ \Delta_i &= E_i - E_{i+1} \\ i &= 1, 2, \dots, 99 \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

断面積は、 $1/E$  中性子束を仮定して得られた次式のものをを用いる。これらは、データテーブルから読み込まれる。

$$\Sigma_{t,i} = \frac{\int_{E_{i+1}}^{E_i} \frac{\Sigma_t(E)}{E} dE}{\int_{E_{i+1}}^{E_i} \frac{dE}{E}}, \quad i = 1, 2, \dots, 99 \quad (2.16)$$

$$\Sigma_{i,j}^{(m)} = \frac{\int_{E_{j+1}}^{E_j} \frac{dE'}{E'} \int_{E_{i+1}}^{E_i} \Sigma^{(m)}(E' \rightarrow E) dE}{\int_{E_{j+1}}^{E_j} \frac{dE'}{E'}} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, 100 \\ j = 1, 2, \dots, 99 \end{array} \quad (2.17)$$

$S_i^{(0)}$  は、核分裂中性子源のときは、一般にはデータテーブルから読み込まれ、エネルギー積分で1に規格化されている。一方  $i$  番目のグループのみが1であるとしての入力もできる。

(2.14) 式は  $B_1$  近似のエネルギーに関して離散的な式であるが、GAMでは上方散乱がないとしているので、一番高いエネルギーグループから逐次解くことができる。また  $\phi^0$  と  $\phi^1$  に関しては、連立一次方程式となっているので直接解くことができる。 $B_3$  近似になっても、4個の式の連立方程式なので、行列のCramer公式を用いて直接解くことができる。尚、GAMでは  $P_1$  近似と  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  近似が取り扱うことができる。

\* ) 今後は、中性子束および断面積の  $m$  成分を示す指標は、中性子束に対しては、離散的表現(エネルギーグループの指標は別に付くので)のときのみ右下に付け、断面積には、一般に右肩に付けることとする。

## 2.6 GATHERへの減速中性子源

GAMからGATHERへの減速中性子源は次のように定義する。

$$q_0(E) = \int_{E_c}^{\infty} \sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) \phi_0(E') dE' \quad (2.18)$$

$$q_1(E) = 3 \int_{E_c}^{\infty} \sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E) \phi_1(E') dE' \quad (2.19)$$

ここで、 $E_c$  は、GAM領域とGATHER領域との境界エネルギーである。 $q_0(E)$ および $q_1(E)$ の計算には、次の2通りの方法があり、それぞれ、漸近的中性子源(asymptotic source)および非漸近的中性子源(non-asymptotic source)と呼ばれ、どちらを選ぶかは入力で決められる。

漸近的中性子源

このときは、次の仮定が前提となる：

1. GAM領域での中性子束は

$$\phi_0(E) = \frac{1}{E} \quad (2.20)$$

2. 中性子束と中性子流は、Fickの法則の関係にある。  
すなわち

$$\phi_1(E) = D \nabla^2 \phi_0(E) \quad (2.21)$$

ここで、 $D$ は拡散係数である。

3. 中性子散乱は、重心系で等方散乱とする：

$$\sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) = \frac{\sigma_p}{E'(1-\alpha)} \quad (2.22)$$

$$\sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E) = \frac{\sigma_p}{E'(1-\alpha)} \left( \frac{A+1}{2} \sqrt{\frac{E}{E'}} - \frac{A-1}{2} \sqrt{\frac{E'}{E}} \right) \quad (2.23)$$

ここで、 $\sigma_p$ は標的核のポテンシャル散乱断面積(エネルギーに依存しない)、 $A$ は、その質量、 $\alpha = [(A-1)/(A+1)]^2$ 。

ここで、指標 $k$ は、核種 $k$ を示すことにする。(2.18)式および(2.19)式の積分の上限は、1回の衝突による散乱範囲を考えると $E/\alpha_k$ で置き換えられる。そして、上の仮定を代入して整理すると次式が得られる。

$$q_0^k(E) = \frac{\sigma_p^k}{1-\alpha_k} \left( \frac{1}{E_c} - \frac{\alpha_k}{E} \right) \quad (2.24)$$

$$q_1^k(E) = 3D |B| \cdot \frac{\sigma_p^k}{1-\alpha_k} \left[ \frac{A_k+1}{2} \sqrt{E} \left( \frac{1}{E} - \frac{\alpha_k^{\frac{3}{2}}}{E^{\frac{3}{2}}} \right) - \frac{A_k-1}{E} \left( \frac{1}{\sqrt{E_c}} - \frac{\sqrt{\alpha_k}}{\sqrt{E}} \right) \right] \quad (2.25)$$

$E_d = \alpha_k E_c$  とおくと,  $q_0^k(E)$  は,

$E \geq E_d$  のときに,  $q_0^k(E) > 0$

$E < E_d$  のときに,  $q_0^k(E) = 0$

一方,

$$x_k = \frac{\sqrt{\alpha_k}}{3} \frac{1 - \left(\frac{E_d}{E}\right)^{\frac{3}{2}}}{1 - \left(\frac{E_d}{E}\right)^{\frac{1}{2}}} - \frac{E_d}{E}$$

とおくと,  $q_1^k(E)$  は,

$x_k > 0$  のときに,  $q_1^k(E) > 0$

$x_k < 0$  のときに,  $q_1^k(E) < 0$

$E \leq E_d$  のときに,  $q_1^k(E) = 0$

現在の GATHER では, エネルギー点  $E$  は, 101 点から成り,  $E_c = 2.38 \text{ eV}$  である。

### 非漸近的中性子源

こゝでは,  $1/E$  中性子束の代わりに, 予め計算された GAM での中性子束が用いられる。したがって,  $E_j$ , GATHER での  $j$  番目のエネルギー点,  $E_d = \alpha_k E_c$ ,  $E_c = 2.38 \text{ eV}$  とすると,

$$\left. \begin{array}{l} q_0^k(E_j) \neq 0 \\ q_1^k(E_j) \neq 0 \end{array} \right\} , E_d \leq E_j \leq E_c \quad (2.26)$$

GAM 領域では,  $g$  番目のエネルギーグループは, エネルギー  $EN_g$  および  $EN_{g+1}$  で挟まれる巾を持っているので, 高速中性子束  $\phi_{(m)}^g$  ( $m=0, 1$ ) は,

$$\phi_{(m)}^g = \int_{EN_{g+1}}^{EN_g} \phi_{(m)}^g(E) dE, \quad g=1, 2, \dots, 99 \quad (2.27)$$

で表わされる。そして, 92 エネルギーグループが GAM 領域で残りの 7 エネルギーグループが, GATHER 領域と重ね合わさっている例が Fig. 2.1 に示されている。GATHER 領域では, エネルギー点として表示されるので, GAM のエネルギーグループ表示との対応は, 次

式によって定まる：

$$\phi_0(E) = \frac{\phi_0^g}{\Delta U_g} \frac{1}{E} \quad (2.28)$$

ここで、 $\Delta U_g$  は、 $g$  番目のエネルギーグループの中のレサージ表示であり、また、エネルギーグループ内での中性子束は、 $1/E$  と仮定された。

(2.18)、(2.19) 式の関係と、重心系で、中性子が等方散乱するという仮定を用いて、 $q_0$  および  $q_1$  を整理すると、 $q_0(E_j)$  は、

$$q_0^k(E_j) = \sum_g q_0^k(g \rightarrow E_j) + q_0^k, \text{END}, \quad g = h, h+1, h+2, \dots, 92 \quad (2.29)$$

ここで、 $h$  は  $E_{up} (= E_j / \alpha : 1 \text{ 回の衝突での散乱範囲の高い側のエネルギー})$  が含まれるエネルギーグループで、また、

$$q_0^k(g \rightarrow E_j) = \frac{\sigma_p^k}{1 - \alpha_k} \frac{\phi_0^g}{\Delta U_g} \left[ \frac{1}{EN_{g+1}} - \frac{1}{EN_g} \right] \quad (2.30)$$

$$q_0^k, \text{END} = \frac{\sigma_p^k}{1 - \alpha_k} \frac{\phi_0^{h-1}}{\Delta U_{h-1}} \left[ \frac{1}{EN_h} - \frac{1}{E_{up}} \right] \quad (2.31)$$

$E_{up}$  は必ずしもエネルギーグループ境界  $EN_h$  と一致するとは限らないので、補正項として (2.31) 式が (2.29) 式内の第 2 項として存在している。 $q_1(E)$  についても同様にして得られる。

$$q_1^k(E_j) = \sum_g q_1^k(g \rightarrow E_j) + q_1^k, \text{END}, \quad g = h, h+1, \dots, 92 \quad (2.32)$$

#### GAM 領域と GATHER 領域との境界が $E_c$ でないとき

今、ここでは、 $E_c = 2.38 \text{ eV}$  として記述してきたが、実際には、GAM 領域と GATHER 領域との境界は、コード使用者が与えるので（今、それを  $E_{OGE} < E_c$  で与えたとする）、中性子源としては、その分を補正追加しなければならない。その補正分は、 $q_0(E)$  に対しては、

$$\int_{E_{OGE}}^{E_c} \sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) \phi_0(E') dE' \quad (2.33)$$

$q_1(E)$  に対しては、

$$3 \int_{E_{OGE}}^{E_c} \sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E) \phi_1(E') dE' \quad (2.34)$$

こゝでは、未だ熱中性子スペクトルが計算されていないので、 $\phi_0(E)$ としては $1/E$ 、 $\phi_1(E)$ としては $D|B|\phi_0(E)$ が用いられる。

全減速中性子源

上に述べた $q_0^k$ と $q_1^k$ とから実際に熱中性子スペクトラムの計算に用いられる全減速中性子源は

$$Q_0(E) = \sum_{k=1}^{MAT} N_k q_0^k(E) \tag{2.35}$$

$$Q_1(E) = \sum_{k=1}^{MAT} N_k q_1^k(E) \tag{2.36}$$

$N_k$  は、核種  $k$  の原子数密度で、 $MAT$  は核種の総数である。

非漸近的中性子源の場合は、(2.35)式および(2.36)式の値がそのまま高速中性子スペクトラムの計算とともに計算され、スクラッチテープまたはカードに保存される。漸近的中性子源の場合は、 $q_0^k(E)$ および $q_1^k(E)/D|B|$ の計算に必要なデータが、GATHER領域のデータテープから読み込まれ、熱中性子スペクトルの計算に先立って、(2.35)式および(2.36)式の値が計算される。

2.7 GATHERにおけるスペクトラム方程式の解法

GATHER領域では、エネルギーがゼロから $E_0 (= 2.38 \text{ eV})$ の範囲に亘って101の微細エネルギー点を持っていて、それらは、それぞれのエネルギーグループの上側境界のエネルギーで定義されている。そして、 $P_0$ 、 $P_1$  近似および $B_0$ 、 $B_1$  近似で取り扱うことができる。以下では $B_1$  近似のみについて説明するが $P_1$  近似も殆んど同様である。

$B_1$  近似

GAM領域の $B_1$  近似とは(2.11)式および(2.12)式の右辺の、第一項の積分範囲が

$$\int_0^\infty dE' \rightarrow \int_0^{E_0} dE'$$

に代わるのと、第2項 $S_0(E)$ が減速中性子源となって：

$$Q_0(E) = \int_{E_0}^\infty \Sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) \phi_0(E') dE' \tag{2.37}$$

$$Q_1(E) = 3 \int_{E_0}^\infty \Sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E) \phi_1(E') dE' \tag{2.38}$$

となる。これについては、2.6節で既に述べた。

したがって、エネルギーに関して離散的表現で $B_1$  近似を示すと、

$$\left. \begin{aligned} B\phi_i^{(1)} + \sum_{t,i} \phi_i^{(0)} &= \sum_j \Sigma_{ij}^{(0)} \phi_j^{(0)} \Delta_j + Q_i^{(0)} \\ -B\phi_i^{(0)} + 3\gamma_i \sum_{t,i} \phi_i^{(1)} &= 3 \sum_j \Sigma_{ij}^{(1)} \phi_j^{(1)} \Delta_j + Q_i^{(1)} \end{aligned} \right\} \quad (2.39)$$

ここで

$$\Sigma_{ij}^{(m)} = \Sigma^{(m)} (E_i \leftarrow E_j) \quad m=0, 1 \quad (2.40)$$

エネルギーメッシュは

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{E_2}{2} \\ \Delta_i &= \frac{E_{i+1} - E_{i-1}}{2}, \quad i=2, 3, 4, \dots, 100 \\ \Delta_{101} &= E_{101} - E_{100} \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

GATHERでは、上方散乱が含まれているので、(2.39)式は反復法で解かなければならない。すなわち、(2.39)式を書き直して：

$$\left. \begin{aligned} \phi_i^{(0)} &= \frac{\sum_{j \neq i} \Sigma_{ij}^{(0)} \phi_j^{(0)} \Delta_j + Q_i^{(0)} - B\phi_i^{(1)}}{\Sigma_{t,i} - \Sigma_{ii}^{(0)} \Delta_i} \\ \phi_i^{(1)} &= \frac{3 \sum_{j \neq i} \Sigma_{ij}^{(1)} \phi_j^{(1)} \Delta_j + Q_i^{(1)} + B\phi_i^{(0)}}{3(\Sigma_{t,i} \gamma_i - \Sigma_{ii}^{(1)} \Delta_j)} \end{aligned} \right\} \quad (2.42)$$

右辺の  $\phi_i^{(0)}$  および  $\phi_i^{(1)}$  は、反復法<sup>\*</sup>において、最初の回は、入力するか、前回の計算結果を用いるかいつれかである。これらの  $\phi^{(0)}$  および  $\phi^{(1)}$  を用いて、すぐ、次式による規格化因子が計算され、

$$\alpha = \frac{\sum_j Q_j^{(0)} \Delta_j}{\sum_j [(\Sigma_{a,j} + \Sigma_{up,j}^{(0)}) \phi_j^{(0)} + B\phi_j^{(1)}] \Delta_j} \quad (2.43)$$

\* ) Normalized extrapolation Gaussian iteration method とか point successive overrelaxation iterative method と呼ばれている方法<sup>8)</sup>。

この $\alpha$ を用いて、反復法の次回の $\phi^{(0)}$ 、 $\phi^{(1)}$ が次式によって求められる：

$$\phi_i^{k+1} = \lambda \alpha_{k+\frac{1}{2}} \phi_i^{k+\frac{1}{2}} + (1-\lambda) \phi_i^k \quad (2.44)$$

ここで、 $\lambda$ は緩和因子であり、付号 $k$ 、 $k+\frac{1}{2}$ 、 $k+1$ は、それぞれ、前回、今回、次回を表わす。(2.42)式から(2.44)式は、 $\phi^{(0)}$ および $\phi^{(1)}$ が収束するまで反復される。最大反復回数、収束範囲、緩和因子は、入力しないときは、コード内で、それぞれ300、 $1 \times 10^{-5}$ 、1.2として与えられる。

(2.43)式および(2.42)式で用いられた $\Sigma_{up, j}^{(0)}$ および $\Sigma_{t, i}$ は、それぞれ次式で与えられる。

$$\Sigma_{up, j}^{(0)} = \int_{E_c}^{\infty} \Sigma^{(0)}(E_j \rightarrow E') dE' \quad (2.45)$$

$$\Sigma_{t, i} = \Sigma_{a, i} + \sum_j \Sigma_{ij}^{(0)} \Delta_j + \Sigma_{up, i}^{(0)} \quad (2.46)$$

### 2.3 GAMとGATHERの連結

GATHER領域では、2.38 eV以下、GAM領域では、1.49 MeVから0.414 eVまで取り扱いが、GGC-4コードでは、1.49 MeV以下の全領域に亘っての群定数を作成するので、上のふたつの領域を連結する手続きを持っている。2.38 eVは両領域の交叉しているところのエネルギーで、2.38 eVから0.414 eVまでは、両領域の重ね合わさっているところで、こゝでは、中性子束および中性子流が等しいことが望まれる。

4) 2.7節で述べたように、2.38 eVは、GATHER領域の101番目のエネルギー点で、また、GAM領域の92番目のエネルギーグループに接続している(微細グループでは、GATHERとGAMとは、エネルギー点の番号付けは逆向きになっている)。連続性の式は、エネルギー点とエネルギーグループとで行うのであるから、次式で与えられる。

$$\phi^T(E_{101}) = \frac{\phi_{92}^F}{\Delta U_{92}} \frac{1}{E_{101}} \quad (2.47)$$

こゝで、右肩の指標で、TはGATHER領域に属することを示し、FはGAM領域に属することを示す。 $\Delta U$ は、レサージ巾を示している。

ロ) 縮約されたエネルギーグループの連続性について調べる。Fig. 2.2に示してあるような場合を考えると、GAM領域の最後のグループ( $N_F+1$ 番目)とGATHER領域の初めのグループ(1番目)の中性子束あるいは中性子流が接続していると考えたと

$$\phi_{N_F+1}^F = \phi_1^T \quad (2.48)$$

逆に云えば、(2.48)式満足するような両領域のエネルギー範囲を定めるべきであろう。

(2.48)式はコードの中では考慮されていない。ここにグループの中性子束(中性子流)は、次式で定義されているものとする。

$$\phi_g^{(n)} = \int \phi_g^{(n)}(E) dE \quad (2.49)$$

積分は、g番目の縮約グループのエネルギー範囲である。

減速中性子源の連結については、既に2.6節で述べた。

### 2.9 空間モーメント

(2.2)式に、 $P_n(\mu)$ を掛けて、 $\mu$ について積分すると次式が得られる：

$$\begin{aligned} (n+1) \frac{\partial \phi_{n+1}}{\partial x} + n \frac{\partial \phi_{n-1}}{\partial x} + (2n+1) \Sigma_t(E) \phi_n(E, x) \\ = (2n+1) \int_0^\infty \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \phi_n(E', x) dE' + S(E, x) \delta_{n0} \end{aligned} \quad (2.50)$$

,  $n = 0, 1, 2, \dots$

ここで、

$$\phi_n(E, x) = \int_{-1}^{+1} P_n(\mu) \phi(E, \mu, x) d\mu \quad (2.51)$$

(2.50)式で、 $x=0$ に板状中性子源があると仮定して、空間モーメントをとると、

$$\begin{aligned} -[(n+1) \phi_{m-1, n+1}(E) + n \phi_{m-1, n-1}(E)] + (2n+1) \Sigma_t(E) \phi_{m, n}(E) \\ = (2n+1) \int_0^\infty \Sigma_s^{(n)}(E' \rightarrow E) \phi_{m, n}(E') dE' + S_0(E) \delta_{n0} \delta_{m0}, \end{aligned} \quad (2.52)$$

$n = 0, 1, 2, \dots$

ここで、

$$\phi_{m, n}(E) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x^m}{m!} \phi_n(E, x) dx, \quad n, m = 0, 1, \dots, M.$$

そして、 $\phi_{-1, -1}, \phi_{-1, 1}$ のような負の指標を持つモーメントはゼロとする。これらの $\phi_{m, n}$ のエネルギーグループ平均の値は、GGC-4のGAMセクションで計算される。そのとき、 $m+n$ は偶数で、 $M$ は2又は6の値のときが求められる。エネルギーグループ番号gでの空間モーメントを $\phi_{m, n}^g$ と置くと、次式で定義される $\tau_g$ が、エネルギーグループg番目の年令( $\Lambda_{ge}$ )である：

$$\tau_g = \frac{\phi_{20}^g}{\phi_{00}^g} \quad (2.53)$$



## 2.10 時間モーメント

GGC-4のGATHERセクションでは、中性子束の時間モーメントも計算できる。時間依存の拡散方程式は、一般に次式で与えられる：

$$\begin{aligned} \frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial t} \phi_0(E, t) + DB^2 \phi_0(E, t) + \Sigma_t(E) \phi_0(E, t) \\ = \int_0^\infty \Sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) \phi_0(E', t) dE' \end{aligned} \quad (2.54)$$

ここで、 $\phi_0$  は  $P_0$  近似の中性子束であり、空間依存性は、バックリングで考慮される。今、時間モーメントを

$$\phi_{m0}(E) = \int_0^\infty \frac{t^m}{m!} \phi_0(E, t) dt \quad (2.55)$$

と定義して、(2.54)式の時間モーメントをとると、

$$\begin{aligned} [DB^2 + \Sigma_t(E)] \phi_{m0}(E) = \int_0^\infty \Sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) \phi_{m0}(E') dE' + \frac{1}{v} \phi_{m-1,0}(E) \\ , m=0, 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2.56)$$

ここで、 $\phi_{-1,0}$  は、最初の仮定した中性子  $\phi_0(E, 0)$  ととる。

Fine energy-group boundaries      Fine energy-group indices for fast neutrons

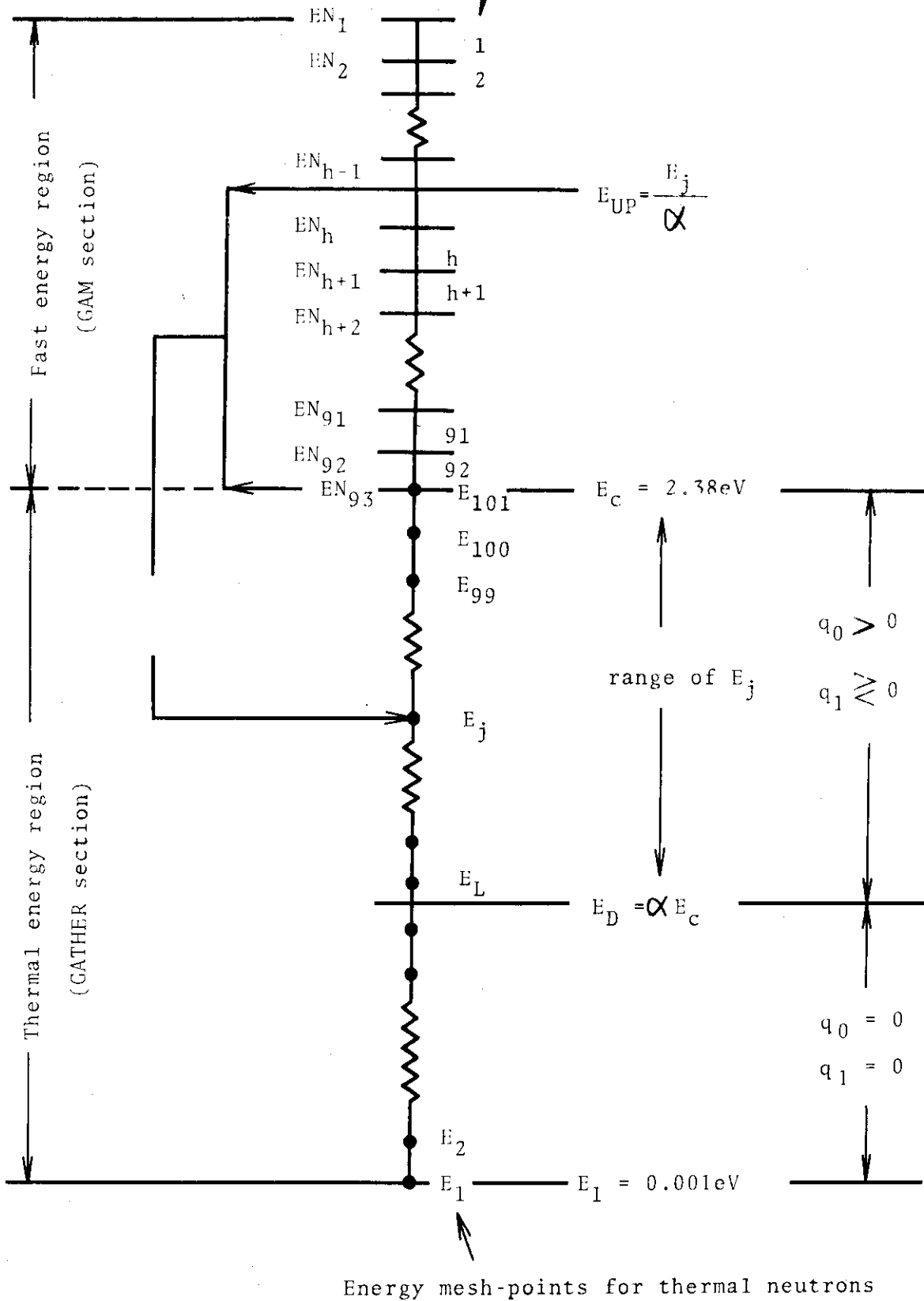


Fig. 2.1 Energy-group structure for calculating slowing-down sources

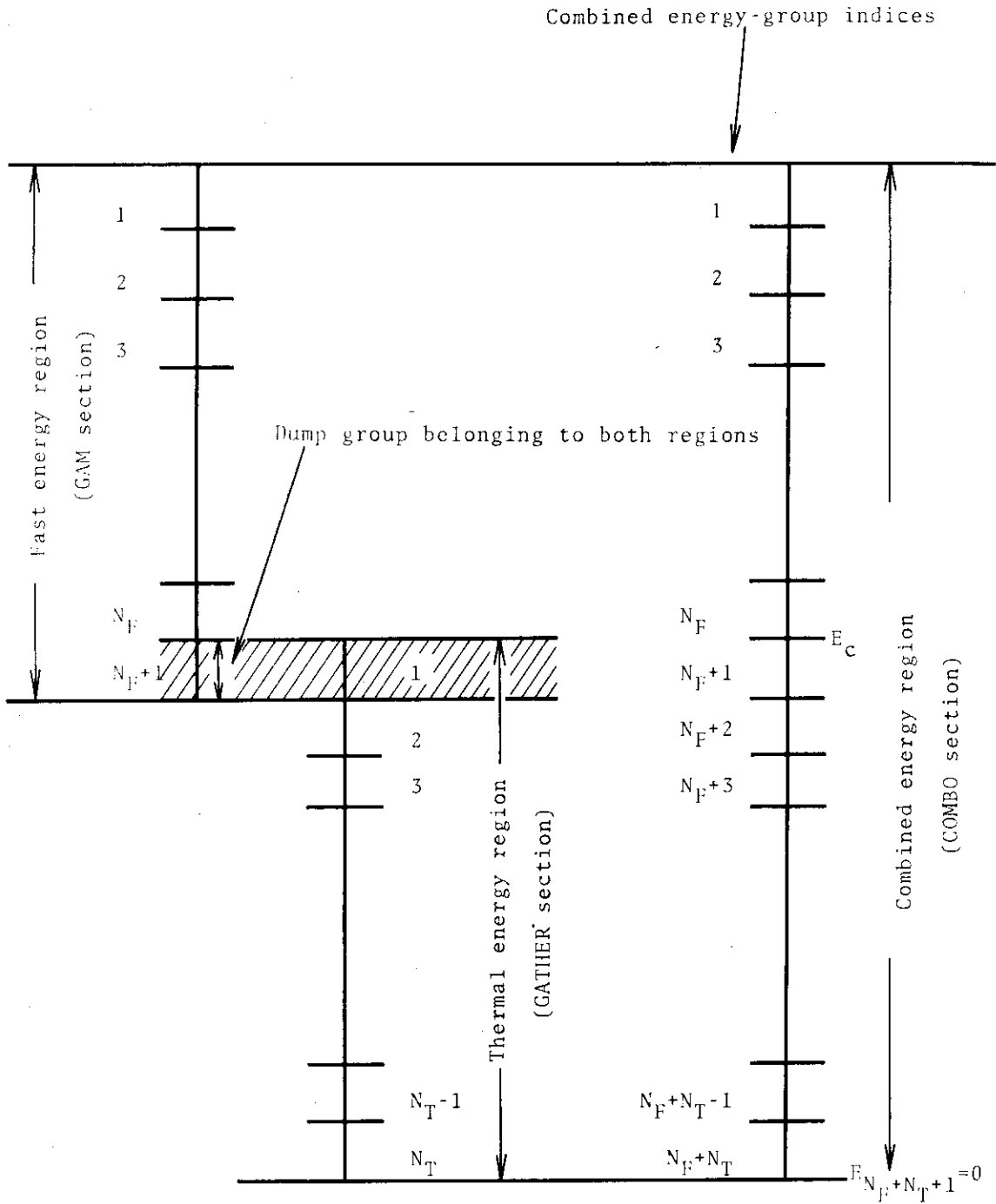


Fig. 2.2 Collapsed energy-group structure combining fast and thermal energy regions.

### 3 縮約断面積の計算

中性子スペクトラムの計算が終ると、与えられたエネルギー範囲について、断面積の平均化が行われる。こゝでは、平均化の公式を示す。もし、自己遮蔽因子を与えたときには、断面積にこれを掛ければよい。GAMおよびGATHERで用意された縮約断面積は、GGC-4のCOMBOで、輸送コードおよび拡散コードの入力形式に書き換えられ、カードとして出力される。輸送コードはDTF-W<sup>12)</sup>の入力と殆んど同じ形式である。

#### 3.1 輸送断面積の定義

GGC-4の中では、マイクロ輸送断面積にふたつの定義がなされている。この両方の定義は、B-1近似から導かれる：

$$\frac{B^2}{|B|} \phi_1(E) + \Sigma_t(E) \phi_0(E) = \int_0^\infty \Sigma_s^{(0)}(E' \rightarrow E) \phi_0(E') dE' + S_0(E) \quad (3.1)$$

$$-|B| \phi_0(E) + 3r(E) \Sigma_t(E) \phi_1(E) = 3 \int_0^\infty \Sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E) \phi_1(E') dE' \quad (3.2)$$

こゝで、空間依存性は、バックリング ( $B^2$ ) のみによって記述される。

マイクロ輸送断面積の定義は

$$[\text{definition-1}] : \sigma_{tr}(E) = r(E) \sigma_t(E) - \frac{\int_0^\infty \sigma_s^{(1)}(E' \rightarrow E) \phi_1(E') dE'}{\phi_1(E)} \quad (3.3)$$

$$[\text{definition-2}] : \sigma_{tr}(E) = r(E) \sigma_t(E) - \mu_0(E) \quad (3.4)$$

こゝで、

$$\mu_0(E) = \int \sigma_s^{(1)}(E \rightarrow E') dE' \quad (3.5)$$

混合物質のマクロ断面積の定義は、次式で与えられる。

$$\Sigma_{tr}(E) = \frac{|B|}{3} \frac{\phi_0(E)}{\phi_1(E)} \quad (3.6)$$

(3.3)式と(3.4)式は、本来内容的に一致しているのであるが、スペクトラムは(3.2)式から求めるので、若干の不一致がある。一般には、非等方性散乱を考慮した等方輸送計算をするときには、[definition-2]の(3.4)式を用いる。

#### 3.2 GAMの縮約断面積

縮約エネルギーグループの境界が、微細エネルギーグループの境界と一致していないときは、近い方の境界が用いられる。これからの式の中で、iおよびjは、微細グループを表わし、k

および  $l$  は、縮約グループを示すものとする。

縮約された中性子束および中性子流

$$(\phi^{(m)})_k = \sum_{i \in k} \phi_i^{(m)} \Delta_i \quad (3.7)$$

ここで、 $m=0$  が中性子束、 $m=1$  が中性子流に対する符号である。 $\Delta_i$  は (2.15) に既に定義されている。

散乱マトリックス (グループ  $l$  からグループ  $k$  へ)

$$(\sigma^{(m)})_{kl} = \frac{\sum_{j \in l} \phi_j^{(m)} \Delta_j \sum_{i \in k} \sigma_{ij}^{(m)} \Delta_i}{\sum_{j \in l} \phi_j^{(m)} \Delta_j} \quad (3.8)$$

全等成分散乱マトリックス

$$(\sigma^{(0)})_{kl} = (\sigma^{(0, el)})_{kl} + (\sigma^{(0, inel)})_{kl} + 2(\sigma^{(0, (n, 2n))})_{kl} \quad (3.9)$$

外散乱 (outscatter) 断面積

$$(\sigma_{out})_k = \sum_{l > k} [(\sigma^{(0, el)})_{lk} + (\sigma^{(0, inel)})_{lk} + (\sigma^{(0, (n, 2n))})_{lk}] \quad (3.10)$$

マイクロ輸送断面積

縮約されたマイクロ輸送断面積には、各核種に対して、次のふたつの定義があり、いずれか、入力で選ばれる。これについては第 3.1 節に説明がなされている。

[ definition-1 ]

$$(\sigma_{tr})_k = (r\sigma_t)_k - \frac{\sum_{l=i}^k (\sigma^{(1)})_{kl} \sum_{j \in l} \phi_j^{(1)} \Delta_j}{\sum_{i \in k} \phi_i^{(1)} \Delta_i} \quad (3.11)$$

[ definition-2 ]

$$(\sigma_{tr})_k = (r\sigma_t)_k - \sum_{l=k}^{N_F} (\sigma^{(1)})_{lk} \quad (3.12)$$

ここで、 $N_F$  は G A M 領域における縮約エネルギーグループの数である。

## マクロ輸送断面積

混合物質に対する拡散係数は次式で計算される。

$$(D)_k = \frac{(\phi^{(1)})_k}{|B|(\phi^{(0)})_k} \quad (3.13)$$

この拡散係数から輸送断面積が求められる。すなわち、

$$(\Sigma_{tr})_k = \frac{1}{3(D)_k} \quad (3.14)$$

## 反応断面積

反応断面積は、中性子束を用いた平均操作によって、求められる：

$$(\sigma)_k = \frac{\sum_{i \in k} \sigma_i \phi_i^{(0)} \Delta_i}{\sum_{i \in k} \phi_i^{(0)} \Delta_i} \quad (3.15)$$

ここで、 $\sigma$  は、吸収、全散乱、核分裂、等の断面積を示す。

## 共鳴断面積

共鳴吸収物質の捕獲吸収断面積  $(\sigma_c)_k$  は、3つの成分からなっている。すなわち、

$$(\sigma_c)_k = (\sigma_c)_k^{\text{resolved}} + (\sigma_c)_k^{\text{unresolved}} + (\sigma_c)_k^{\text{background}} \quad (3.16)$$

ここで、resolved は、分離共鳴、unresolved は非分離共鳴、background は滑らかな成分を表わし、このバックグラウンド断面積は、データテープから読み込まれ、共鳴計算の結果に追加するのに用いられる。分離共鳴領域において、実効捕獲吸収積分は、次式で計算される。

$$(I_{\text{eff}})_k = \frac{(\sigma_c)_k^{\text{resolved}} (\phi^{(0)})_k}{\phi_R} \quad (3.17)$$

ここで  $\phi_R$  は、次式で定義される規格化因子である：

$$\phi_R = \frac{\int_{E_R}^{E_1} \phi(E) dE}{\ln \frac{E_1}{E_R}} \quad (3.18)$$

ここで、 $E_R$  は分離共鳴計算の下限境界エネルギーを示し、 $E_1$  ( $E_1 > E_R$ ) は、GAMコードの中での最も高いエネルギーである。この式でわかるように、もし、 $\phi(E) = 1/E$  ならば、 $\phi_R = 1$  であり、 $\phi(E)$  が  $1/E$  よりずれば、 $\phi_R$  は 1 でなくなる。全実効捕獲吸収共鳴積分は、次式から得られる：

$$I_{\text{eff}} = \sum_k (I_{\text{eff}})_k \quad (3.19)$$

核分裂断面積

$\nu\sigma_f$  に対しては

$$(\nu\sigma_f)_k = \frac{\sum_{i \in k} \nu\sigma_{f,i} \phi_i^{(0)} \Delta_i}{\sum_{i \in k} \phi_i^{(0)} \Delta_i} \quad (3.20)$$

$$(\nu)_k = \frac{(\nu\sigma_f)_k}{(\sigma_f)_k} \quad (3.21)$$

エネルギーグループ  $k$  における核分裂スペクトラム割合は、

$$(\chi)_k = \sum_{i \in k} \chi_i \Delta_i \quad (3.22)$$

マクロ断面積

混合物質の輸送断面積を除いては、どのマクロ断面積も、ミクロ断面積と同じ平均操作で、縮約される。

**3.3 GATHERの縮約断面積**

エネルギーグループの縮約に際して、GATHERにおけるエネルギーメッシュを次のように定義し、積分を行うときは台形公式が用いられる。 $i, j, k, l, m$ の意味は、3.2節と同様である。

$$\left. \begin{aligned} h_i &= \frac{E}{2} \\ h_i &= \frac{E_i - E_{i-1}}{2}, \quad i=2, 3, \dots, 101 \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

と定義しておく。

縮約された中性子束および中性子流

$$(\phi^{(m)})_k = \sum_{i \in k} (\phi_i^{(m)} + \phi_{i-1}^{(m)}) h_i, \quad m=0, 1 \quad (3.24)$$

ここで、 $m=0$ のときが、中性子束、 $m=1$ が中性子流を示す。

反応断面積

吸収、捕獲吸収、核分裂、散乱、等の反応断面積を求める式は次式で与えられる。

$$(\sigma)_k = \frac{\sum_{i \in k} (\sigma_i \phi_i^{(0)} + \sigma_{i-1} \phi_{i-1}^{(0)}) h_i}{\sum_{i \in k} (\phi_i^{(0)} + \phi_{i-1}^{(0)}) h_i} \quad (3.25)$$

散乱マトリックス (グループ l からグループ k へ)

エネルギーグループ, l から k への縮約散乱マトリックスは, 次式で求められる。

$$(\sigma^{(m)})_{k,l} = \frac{\sum_{j \in l} \sum_{i \in k} [(\sigma_{ij}^{(m)} + \sigma_{i-1,j}^{(m)}) \phi_j^{(m)} + (\sigma_{i,j-1}^{(m)} + \sigma_{i-1,j-1}^{(m)}) \phi_{j-1}^{(m)}] h_i h_j}{\sum_{j \in l} (\phi_j^{(m)} + \phi_{j-1}^{(m)}) h_j} \quad (3.26)$$

ここで,  $m = 0, 1$

エネルギー  $E_c$  より高いエネルギーへの上方散乱断面種

微細エネルギーグループの散乱マトリックスを持つ核種に対して, 次式による上方散乱断面種が計算される:

$$\sigma_{up}^{(0)}(E) = \sigma_s(E) - \int_{E'=0}^{E_c} \sigma^{(0)}(E \rightarrow E') dE' \quad (3.27)$$

$$\sigma_{up}^{(1)}(E) = 3 [\sigma_t(E) - \int_{E'=0}^{E_c} \sigma^{(1)}(E \rightarrow E') dE'] \quad (3.28)$$

ここで,  $\alpha E_c < E \leq E_c$

$E_c$  は, GATHER 中の微細エネルギーグループメッシュの最も高い上限メッシュポイントである。縮約計算のときには,  $E_c$  は, 最も高い縮約グループの上限境界エネルギーとする。縮約された,  $\sigma_{up}^{(0)}$  および  $\sigma_{up}^{(1)}$  は, それぞれ, 微細エネルギーについて, 中性子束および中性子流を重みとした台形積分による平均操作で求められる。

減速源 (slowing down source)

$q_i^{(0)} = q^{(0)}(E_i)$ ,  $q_i^{(1)} = q^{(1)}(E_i)$  と置くと, 縮約された減速源は次式から求められる:

$$(q^{(m)})_k = \sum_{i \in k} (q_i^{(m)} + q_{i-1}^{(m)}) h_i \quad (3.29)$$

ここで,  $m = 0, 1$

マイクロ輸送断面種

コード使用者は, 平均操作する際に, 重み関数として中性子束 ( $\phi_i = \phi_i^{(0)}$ ) を用いるか, 中性子流 ( $\phi_i = \phi_i^{(1)}$ ) を用いるか, を選択する。平均操作の式については, 以下に示すが, 重み関数は  $\phi$  として示される。普通は, 平均操作は, 中性子流で行われる。



吸収物質について

これらの核種は、散乱マトリックスを持たない。このときの縮約マイクロ輸送断面積は、次式の微細グループ輸送断面積を平均化することによって求められる。

$$\sigma_{tr, i} = \sigma_{a, i} + \left(1 - \frac{2}{3A}\right) \sigma_{s, i} \quad (3.30)$$

$$(\sigma_{tr})_k = \frac{\sum_{i \in k} (\sigma_{tr, i} \phi_i + \sigma_{tr, i-1} \phi_{i-1}) h_i}{\sum_{i \in k} (\phi_i + \phi_{i-1}) h_i} \quad (3.31)$$

ここで、 $\sigma_{a, i}$  は吸収断面積を示し、 $\sigma_{s, i}$  は散乱断面積を示す。A は吸収核種の質量である。マイクロ輸送断面積  $\sigma_{tr, i}$  は、GATHER のデータテーブルから読み込まれる。

減速物質について

これらの核種は、散乱マトリックスを持っている。したがって、縮約輸送断面積は、次のふたつのいずれかの定義で求められる：

[ definition -1 ]

$$(\sigma_{tr})_k = (\nu \sigma_t)_k - \frac{\sum_{l=1}^{N_T} (\sigma^{(l)})_{k, l} \phi_l^{(l)} + (q^{(l)})_k}{\phi_k^{(1)}} \quad (3.32)$$

ここで、 $N_T$  は、GATHER の縮約グループの数である。(3.32) 式の第2項は、k 番目の縮約グループに (高いエネルギーからも、低いエネルギーからも) 散乱して入ってくる中性子の総数を意味している。

[ definition +2 ]

$$(\sigma_{tr})_k = (r \sigma_t)_k - \left[ \sum_{l=1}^{N_T} (\sigma^{(l)})_{l, k} + (\sigma_{up}^{(l)})_k \right] \quad (3.33)$$

マクロ輸送断面積

$$(\Sigma_{tr})_k = \frac{|B| (\phi^{(0)})_k}{3 (\phi^{(1)})_k} \quad (3.34)$$

3.4 散乱マトリックスの連結

GGC-4 の GAM 領域の中では、散乱マトリックス  $(\sigma^{(0)})_{lk}$  および  $(\sigma^{(1)})_{lk}$  が、各核種に対して、与えられている。ここで、 $k = 1, 2, \dots, N_F$  および  $l = 1, 2, \dots, N_F, N_F + 1$  である (Fig. 2.2 参照)。 $N_F$  は GAM 縮約グループの一番下のグループで、 $N_F + 1$  は、GATHER 領域の縮約グループで、ダンプグループとして用いられる。GATHER 領域では  $(\sigma^{(0)})_{kl}$  および  $(\sigma^{(1)})_{kl}$ 、 $l = 1, 2, \dots, N_T$  および  $k = 1, 2, \dots, N_T$  ( $N_T$  は GATHER グループの一番低い縮約グループ) が与えられている。これらの散乱マトリ

ックスは、GAMグループ数 $N_F$ およびGATHERグループ数 $N_T$ からなる全エネルギーグループ ( $l = 1, 2, \dots, N_F + N_T$ , および  $k = 1, 2, \dots, N_F + N_T$ ) に亘って連結され、単一の散乱マトリックスにまとめられる。

GATHER領域からGAM領域へのすべての上方散乱は、 $N_F$ へ散乱して行くと仮定する。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} (\sigma^{(0)})_{N_F, k} &= (\sigma_{up}^{(0)})_k \\ (\sigma^{(1)})_{N_F, k} &= (\sigma_{up}^{(1)})_k \end{aligned} \right\} \quad (3.35)$$

$$k = N_F + 1, N_F + 2, \dots, N_F + N_T$$

この方法は、水素を含むすべての核種に対して同じである。

GAM領域からGATHER領域への下方散乱は、水素を除くすべての核種に対しては、GATHER領域の第1グループへ散乱して行くと仮定する。すなわち、GAM領域のダンプグループは、GATHER領域の第1グループに相当する。

水素に対しては、別な取り扱いをする。この減速材は非常に強い減速効果を持っているので、すべての熱中性子グループに散乱して行くと考えられる。このときのGATHER領域への散乱マトリックスは、次式によって計算される：

$$(\sigma^{(0)})_{l, k} = (\sigma^{(0)})_{N_F + 1, k} \left( \frac{E_l - E_{l+1}}{E_C} \right),$$

$$(\sigma^{(1)})_{l, k} = (\sigma^{(1)})_{N_F + 1, k} \left( \frac{E_l^{\frac{3}{2}} - E_{l+1}^{\frac{3}{2}}}{E_C^{\frac{3}{2}}} \right), \quad k = 1, 2, \dots, N_F$$

$$l = N_F + 1, N_F + 2, \dots, N_F + N_T$$

(3.36)

ここで、 $E_C$ はGAM領域とGATHER領域との境界エネルギーであり、 $E_l$ は、 $l$ 番目の熱エネルギー縮約グループの上側境界である。また、 $E_{N_F + 1} = E_C$ 、 $E_l > E_{l+1}$ 、 $E_{N_F + N_T + 1} = 0$ である。

4 共鳴断面積の計算<sup>9)</sup>

GGO-4のGAM領域の微細エネルギーグループにおける平均共鳴断面積は、このエネルギーグループ内でも、エネルギーに対して変化するので、更に細かい(超微細)エネルギーメッシュで解いて、平均微細グループ共鳴断面積を計算しなければならない。また、共鳴領域は分離領域と非分離領域とに分けられる。分離共鳴では、この超微細エネルギーグループで解かれてDoppler共鳴が計算され、このとき得られた中性子束を用いて実効共鳴積分が求められ、バックグラウンド断面積に加えられる。この分離共鳴計算は各共鳴レベルに対して適用されるが、主な寄与をする部分は厳密に、少ない寄与である共鳴の裾の部分は解析的に、求められる。一方、非分離共鳴計算では、共鳴レベルが統計的に分布していると仮定して行われる。ライブラリーの中に既に用意されている微細エネルギーグループの共鳴断面積を用いるときは、上記の共鳴計算はせず、ライブラリーから直接読み込まれる。

## 4.1 Doppler 共鳴の計算

中心にエネルギー $E_0$ を持つひとつの共鳴(捕獲)吸収断面積は、Breit-Wignerの公式で与えられる:

$$\sigma_{n,\gamma}(E) = \pi \lambda_0^2 g \sqrt{\frac{E_0}{E}} \frac{\Gamma_n \Gamma_\gamma}{(E-E_0)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} \quad (4.1)$$

ここで、 $\Gamma_n$ 、 $\Gamma_\gamma$  および  $\Gamma$  は、それぞれ、中性子散乱巾、捕獲吸収巾、全巾を示し、 $\lambda_0 = \pi / \sqrt{2\mu E_0}$  で、 $\mu$  は換算質量、 $\hbar = h/2\pi$ 、 $h$  はプランクの定数であり、 $g = (2J+1) / [2(2I+1)]$  で、統計因子と呼ばれる。 $J$  は、複合核のスピン、 $I$  は標的核のスピンである。入力された温度  $T$  (°K) に従って、ドップラー吸収断面積は実際には次式で計算される。

$$\sigma_a(E) = \frac{\Gamma_\gamma + \Gamma_f}{\Gamma} \sqrt{\frac{E_0}{E}} \sigma_0 \psi(\xi, x), \quad (4.2)$$

ここで、 $\Gamma_f$  は、核分裂巾で、

$$\sigma_0 = 4\pi g \lambda_0^2 \frac{\Gamma_n}{\Gamma} \quad (4.3)$$

および

$$\psi(\xi, x) = \frac{\xi}{\sqrt{4\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\xi^2(x-y)^2}{4}}}{1+y^2} dy \quad (4.4)$$

(4.4)式の中で

$$x = \frac{2(E-E_0)}{\Gamma} \quad (4.5)$$

$$y = \frac{2(E_{CM} - E_0)}{\Gamma} \quad (4.6)$$

$$\xi = \frac{\Gamma}{\Gamma_D} \quad (4.7)$$

$$\Gamma_D = \sqrt{\frac{4E_0 kT}{A}} \quad (4.8)$$

$E_{CM}$  は重心系での中性子と標的核の運動エネルギーの和であり、 $\Gamma_D$  は Doppler 巾と呼ばれているものである。k は Boltzmann 定数である。

Doppler 共鳴散乱は、軽い核および中程度の重さの核の散乱断面積に対しては普通は無視できるが、重い核の狭い共鳴に対しては無視できない。この共鳴散乱断面積は次式で与えられる：

$$\sigma_s(E) = \pi \lambda_0^2 g \frac{\Gamma_n^2}{(E-E_0)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} + \sigma_p + 4\pi R \lambda_0^2 g \frac{(E-E_0)\Gamma_n}{(E-E_0)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}} \quad (4.9)$$

ここで、 $\sigma_p = 4\pi R^2$  で R は標的核の半径である。上の式の第1項は共鳴散乱、第2項はポテンシャル散乱、第3項は共鳴散乱とポテンシャル散乱の干渉を示す。実際には、上の式から、次式で計算される。

$$\sigma_s(E) = \sigma_0 \frac{\Gamma_n}{\Gamma} \psi(\xi, x) + \frac{\sigma_0 R}{\lambda_0} \chi(\xi, x) + \sigma_p \quad (4.10)$$

ここで

$$\chi(\xi, x) = \frac{\xi}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2ye^{-\frac{\xi^2(x-y)^2}{4}}}{1+y^2} dy \quad (4.11)$$

## 4.2 分離共鳴の計算

分離共鳴では、3つの計算部分に分けられる。第1は、共鳴中心エネルギー  $E_0$  の周りのある一定の範囲に対して、第2は、 $E_0$  から離れた処の、いわゆる裾 (Wing) の計算、第3は、GGC-4 のエネルギーメッシュに対して、計算された共鳴積分が実効吸収断面積に変換され、その際バックグラウンド断面積が加えられる。

### 4.2.1 共鳴積分に対する主な寄与の計算

共鳴エネルギー  $E_0$  での共鳴積分は、次式で定義される：

$$I(E_0) = E_1 \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_t} e^{-u} du \quad (4.12)$$

こゝで、 $F(u)e^{-u}$  は衝突密度で、 $u$  はレサージイ (次式) で、 $E_1$  は (4.15) 式、あるいは (4.16) 式が成り立つ範囲でとられるエネルギーである。

$$u = \ln \frac{E_1}{E} \quad (4.13)$$

そして、 $\sigma_{a0}$  は共鳴の中心の吸収断面積である。この節では  $I(E_0)$  に対する主な寄与  $I_p(E_0)$  を計算する：

$$I_p(E_0) = E_1 \int_0^{\frac{E_1}{2E_0 - E_1}} F(u) \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_t} e^{-u} du \quad (4.14)$$

こゝで  $E_1$  は、共鳴計算する際の共鳴レベルの裾の広がり巾を示す切断エネルギーで、次式で示される：

$$E_1 = E_0 + \frac{1}{2} S \Gamma_p \quad (4.15)$$

あるいは

$$E_1 = E_0 + 10 \Gamma_D \quad (4.16)$$

こゝで、 $\Gamma_p = \sqrt{\sigma_0/\sigma_p} \cdot \Gamma$  ( $\sigma_p = 4\pi R^2$ ) で、 $S$  は入力する量であるが、 $^{238}\text{U}$  と  $^{232}\text{Th}$  に対しては、値 5 が用いられる。

減速方程式を解くときの為に、燃料セルを 2 つの領域に分けて考える (Fig. 4.1 参照)。第 1 の領域は指標 0 で示される吸収体で、1 つの吸収物質 (指標 0) と 2 つの減速物質 (指標 :  $m_1, m_2$ ) を持っている。第 2 の領域は指標 1 で示され、一般には減速体である。今、吸収体内のすべての減速物質の散乱断面積は吸収原子 1 ケ当りに換算する。すなわち、

$$\sigma_{mi} = \frac{N_i \sigma_{m,i}^s}{N_0} \quad (4.17)$$

こゝで、 $N$  は原子数密度 ( $10^{24}$  atoms/cc) を示す。

非均質セル体系を考えると、吸収体の衝突密度  $F_0(u)$ 、および減速体の衝突密度  $F_1(u)$  は、次の Nordheim の積分型減速方程式を解いて得られる：

$$F_0(u) = (1 - P_0) \left[ \frac{1}{\alpha'_0} \int_{u-\Delta_0}^u F_0(u') \frac{\sigma_{s0}}{\sigma_{t0}} du' + \frac{1}{\alpha'_{m1}} \int_{u-\Delta_{m1}}^u F_0(u') \frac{\sigma_{m1}}{\sigma_{t0}} du' \right. \\ \left. + \frac{1}{\alpha'_{m2}} \int_{u-\Delta_{m2}}^u F_0(u') \frac{\sigma_{m2}}{\sigma_{t0}} du' \right] + \frac{P_1}{\alpha'_{m3}} \int_{u-\Delta_{m3}}^u F_1(u') \frac{\sigma_{m3}}{\sigma_{t1}} du' \quad (4.18)$$

ここで

$$\alpha' = 4A / (A+1)^2 \quad (4.19)$$

$$\Delta = \ln(1 / (1 - \alpha')) \quad (4.20)$$

ここで、 $P_0$  は吸収体から減速体へ中性子が逃げる確率、 $P_1$  は減速体から吸収体へ中性子が逃げる確率を示し、 $P_1$  は一般に次の相反定理によって  $P_0$  から求められる。

$$P_1 = \frac{\sum_{t,0} V_0}{\sum_{t,1} V_1} P_0 \quad (4.21)$$

GGC-4では、 $P_0$  は、各々のセル体系（板状、円柱状、球状）に対する Case<sup>\*1)</sup> の式のテーブル化したものから求められる。また、格子系の  $P_0$  については、Dancoff の補正係数  $C$ <sup>\*2)</sup> が他で求められるならば、次式の Nordheim の近似式で求めてもよい。

$$P_0^a = \frac{1 - C}{1 - (1 - \frac{\bar{V}}{\lambda} P_0) C} \quad (4.22)$$

ここで、 $\bar{V} = 4V_0 / S_0$  ( $V_0$  は吸収体の体積、 $S_0$  はその表面積)、 $\lambda = 1 / (N_0 \sigma_{t,0})$ 。また、他で求めた  $P_0$  を入力できるようにもなっている。

実際には、領域 2 の減速体は軽い ( $A$  が小さい) 物質なので、減速体での衝突密度は漸近 (asymptotic) 形が用いられる。今、減速体の吸収は無く、散乱断面積は一定と仮定し、また Rothenstein の相反定理<sup>\*3)</sup> を用いると、

$$\frac{P_1}{\alpha'_{m3}} \int_{u-\Delta m3}^u F_1(u') \frac{\sigma_{m3}}{\sigma_{t1}} du' = P_0 \sigma_{t0} \frac{e^u}{E_1} \quad (4.23)$$

となる。この式が (4.18) 式の最後の項の代りに用いられる。

領域 0 の内に存在する減速物質 ( $m_1, m_2$ ) に対しては、厳密な Nordheim 形 (4.18) 式がそのまま解かれるか、または、次式の漸近 (asymptotic) 形が用いられる：

$$\frac{1}{\alpha'_{mk}} \int_{u-\Delta mk}^u F(u') \frac{\sigma_{mk}}{\sigma_{t0}} du' = \sigma_{mk} \frac{e^u}{E_1}, \quad k=1, 2 \quad (4.24)$$

$UO_2$  のような酸化燃料ならば、この漸近形で充分である。

吸収体に対しては、コード使用者が次の方法のいずれかを指定する：

- 1) (4.18) 式の中の第 1 項の積分はそのまま (Nordheim 積分方程式)；

$$T_a = \frac{1}{\alpha'_0} \int_{u-\Delta 0}^u F_0(u') \frac{\sigma_{s0}}{\sigma_{t0}} du' \quad (4.25)$$

\* 1) 文献 1) の appendix-II 参照

\* 2) 附録 A 参照

\* 3) 文献 1) の appendix-II 参照

2) 狭共鳴 ( narrow resonance , NR ) 近似 ;

$$T_a = \sigma_{p0} \frac{e^u}{E_1} \quad (4.26)$$

3) 狭共鳴無限大質量 ( narrow resonance infinite mass , NRIM ) 近似 ;

$$T_a = \frac{\sigma_{s0}}{\sigma_{t0}} F_0(u) \quad (4.27)$$

均質セルのような場合に対しては、 $P_0 = 0$  として計算される。

#### 4.2.2 共鳴レベルの裾の補正

共鳴レベルの裾 ( Wing ) の寄与は、4.2.1 節の寄与とは違って数%以内と小さいので、厳密に求める必要はない。一般には、裾の寄与の共鳴積分は次式で与えられる。

$$I_{\text{wing}} = E_1 \int_{-\infty}^0 F(u') e^{-u'} \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{t0}} du' + E_1 \int_{\ln a}^{\infty} F(u') e^{-u'} \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{t0}} du \quad (4.28)$$

ここで、 $a = \ln [ E_1 / ( 2E_0 - E_1 ) ]$

$$Z_1 = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \quad (4.29)$$

$$\sigma_m = \sigma_{m1} + \sigma_{m2} \quad (\text{均質系}) \quad (4.30)$$

および

$$\sigma_m = \sigma_{m1} + \sigma_{m2} + \frac{1-C}{N_0 T} \quad (\text{非均質系}) \quad (4.31)$$

とおくと、 $Z_1$  の4つの分割に従って次のように近似ができる。但し、 $A_0$  は、吸収体原子の質量である。

(1)  $2/A_0 < Z_1 < 0.1$  ; N近似で、

$$\beta = \frac{\sigma_{p0} + \sigma_m}{\sigma_0} \quad (4.32)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{I_n \sigma_{p0}}{g \Gamma \sigma_0}} \quad (4.33)$$

\*4) 格子間隔が十分に離れているときは  $C = 0$  に近いと考えられる。

とおくと,

$$I_{\text{wing}} = \frac{\sigma_0 \beta (\Gamma_\gamma + \Gamma_f)}{2 E_0 \sqrt{\beta(1+\beta) - \gamma^2}} \left[ \pi - \tan^{-1} \frac{\beta \chi_1 + \gamma}{\sqrt{\beta(1+\beta) - \gamma^2}} - \tan^{-1} \frac{\beta \chi_1 - \gamma}{\sqrt{\beta(1+\beta) - \gamma^2}} \right] \quad (4.34)$$

(2)  $Z_1 < 0.1$  および  $Z_1 \leq 2/A_0$  ; NRIM 近似で

$$\beta' = \frac{\Gamma}{\Gamma_\gamma + \Gamma_f} \frac{\sigma_m}{\sigma_0} \quad (4.35)$$

とおくと

$$I_{\text{wing}} = \frac{\beta' (\Gamma_\gamma + \Gamma_f) \sigma_0}{2 E_0 \sqrt{\beta' (1 + \beta')}} \left[ \pi - 2 \tan^{-1} \frac{\beta' \chi_1}{\sqrt{\beta' (1 + \beta')}} \right] \quad (4.36)$$

(3)  $0.1 \leq Z_1 < 4/7$

$$I_{\text{wing}} = \sigma_0 \frac{\Gamma (\Gamma_\gamma + \Gamma_f)}{4 E_0^2} [I_+ + I_-] \quad (4.37)$$

ここで,

$$I_- = \frac{1 - 3Z_1}{Z_1 \sqrt{1 - Z_1}} + \frac{3}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{1 + Z_1}}{1 - \sqrt{1 - Z_1}} - 0.4405 \quad (4.38)$$

$$I_+ = \frac{1 + 3Z_1}{Z_1 \sqrt{1 + Z_1}} - \frac{3}{2} \ln \frac{\sqrt{1 + Z_1} + 1}{\sqrt{1 + Z_1} - 1} \quad (4.39)$$

(4)  $Z_1 \geq 4/7$ ,

$$I_{\text{wing}} = \sigma_0 \frac{\Gamma (\Gamma_\gamma + \Gamma_f)}{4 E_0^2} \left[ \frac{1 + 3Z_1}{Z_1 + \sqrt{1 + Z_1}} - \frac{3}{2} \ln \frac{\sqrt{1 + Z_1} + 1}{\sqrt{1 + Z_1} - 1} \right] \quad (4.40)$$

#### 4.2.3 エネルギーグループ毎の共鳴断面積および実効共鳴積分

共鳴計算によって求められた断面積は、微細グループ毎の断面積にまとめられる。今、エネルギーグループ  $k$  ( レザージ  $U_k$  と  $U_{k+1}$  の範囲 ) における共鳴吸収断面積は、

$$\sigma_a^r(k) = \frac{I_k}{U_{k+1} - U_k} \quad (4.41)$$

共鳴分裂断面積は

$$\sigma_f^r(k) = \sigma_a^r(k) \frac{\Gamma_f}{\Gamma_\gamma + \Gamma_f} \quad (4.42)$$



実効共鳴積分は一般に次式で定義される

$$I_{\text{eff}} = \frac{\int \sigma_c(E) \phi(E) dE}{\phi_R} \quad (4.43)$$

ここで、 $\phi(E)$ は共鳴領域の中性子束である。 $\phi_R$ は規格因子で、共鳴領域の上側境界の中性子束  $1/E$  に接続するように規格化されている：

$$\phi_R = \frac{\int_{E_R}^{E_1} \phi(E) dE}{\ln \frac{E_1}{E_R}} \quad (4.44)$$

$E_R$ は分離共鳴領域の下側の境界で、 $E_1$  ( $E_1 > E_R$ )は、GAM領域の上側エネルギー境界 (14.9 MeV)である。

実効共鳴積分  $I_{\text{eff}}$  は温度  $T$  (°K) の関数であるので、次式により手計算で Doppler 係数  $\alpha(T_0)$  を求めることができる：

$$\alpha(T_0) = \frac{1}{I_{\text{eff}}(T_0)} \left. \frac{dI_{\text{eff}}}{dT} \right|_{T=T_0} \quad (4.45)$$

#### 4.3 非分離共鳴の計算

1 KeV以上のエネルギーになると、共鳴レベルは個々に観測できなくなる(非分離, unresolved)ので、平均化された共鳴パラメータとして取扱われる。従って統計的を取り扱いが必要となる。

##### 4.3.1 非分離共鳴の共鳴積分

S-波の中性子のみを考慮して、狭共鳴近似を適用すると、中性子束は

$$\phi(E) = \frac{\sigma_u}{E \sigma_t(E)} \quad (4.46)$$

ここで、 $\sigma_u$ は吸収原子当りの実効吸収散乱断面積で、次式によって与えられる：

$$\sigma_u = \sigma_{m1} + \sigma_{m2} + \frac{1-C}{\Gamma N_0} + \sigma_{p0} \quad (4.47)$$

ひとつの共鳴レベルに対する共鳴積分は次式で示される。

$$I = \int \sigma_x(E) \phi(E) dE \quad (x = \text{吸収, 分裂などを表わす}) \quad (4.48)$$

そして、

$$X = \frac{2}{\Gamma} (E - E_0) \quad (4.49)$$

$$\sigma_x(X) = \sigma_0 \frac{\Gamma_x}{\Gamma} \psi(\xi, x) \quad (4.50)$$

$$\sigma_t(X) = \sigma_a(X) + \sigma_s(X) + \sigma_u \quad (4.51)$$

ここで

$$\sigma_x = \sigma_c \text{ のときは } \Gamma_x = \Gamma_\gamma$$

$$\sigma_x = \sigma_s \text{ のときは } \Gamma_x = \Gamma_n$$

のように示すと、共鳴積分（例えば、捕獲吸収）は次式で示される。

$$I = \sigma_u \frac{\Gamma_\gamma}{E_0} J(\xi, \beta) \quad (4.52)$$

ここで、

$$J(\xi, \beta) = \int_0^\infty \frac{\psi(\xi, x)}{\psi(\xi, x) + \beta} dx, \quad (4.53)$$

$$\xi = \frac{\Gamma}{\Gamma_D}, \text{ 但し, } \Gamma = \sqrt{E} \Gamma_{n0} + \Gamma_\gamma + \Gamma_f, \quad (4.54)$$

$$\beta = \frac{\sigma_u}{\sigma_0}, \quad (4.55)$$

$\Gamma_{n0}$  は中性子換算巾 (reduced width) である。

ここで、共鳴レベルの中性子巾が Porter - Thomas の分布に従っていると考えると、そのときの共鳴積分は、次式のようなになる。すなわち、

$$I_{UR} = \sigma_u \frac{\Gamma_\gamma}{D} \int_{E_c}^{E_{\max}} \langle J(E) \rangle \frac{dE}{E} \quad (4.56)$$

ここで

$$\langle J(E) \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi G}} \int_B^\infty \frac{J(\xi, \beta) e^{-\frac{\xi-B}{2G}}}{\sqrt{\xi-B}} d\xi \quad (4.57)$$

$$G = \langle \Gamma_{no} \rangle \sqrt{\frac{A}{4kT}} \quad (4.58)$$

$$B = \frac{\Gamma_{\gamma} + \Gamma_f}{\Gamma_D} \quad (4.59)$$

Dは、平均レベル間隔を示し、 $\langle \rangle$ はPorter-Thomas分布で平均されたことを示す。エネルギーの積分範囲 ( $E_c, E_{max}$ ) は、全非分離共鳴領域に対してある。

#### 4.3.2 エネルギーグループ毎の共鳴断面積

エネルギーグループKの捕獲吸収断面積は次式で与えられる。

$$\sigma_c^{uE}(K) = \sigma_u \frac{\Gamma_{\gamma}}{D(u_{k+1} - u_k)} \int_{E_k}^{E_{k+1}} \langle J(E) \rangle \frac{dE}{E} \quad (4.60)$$

尚、エネルギーグループ毎に自己遮蔽因子 (self shielding factor) が用意されていれば、カード入力することもできる。

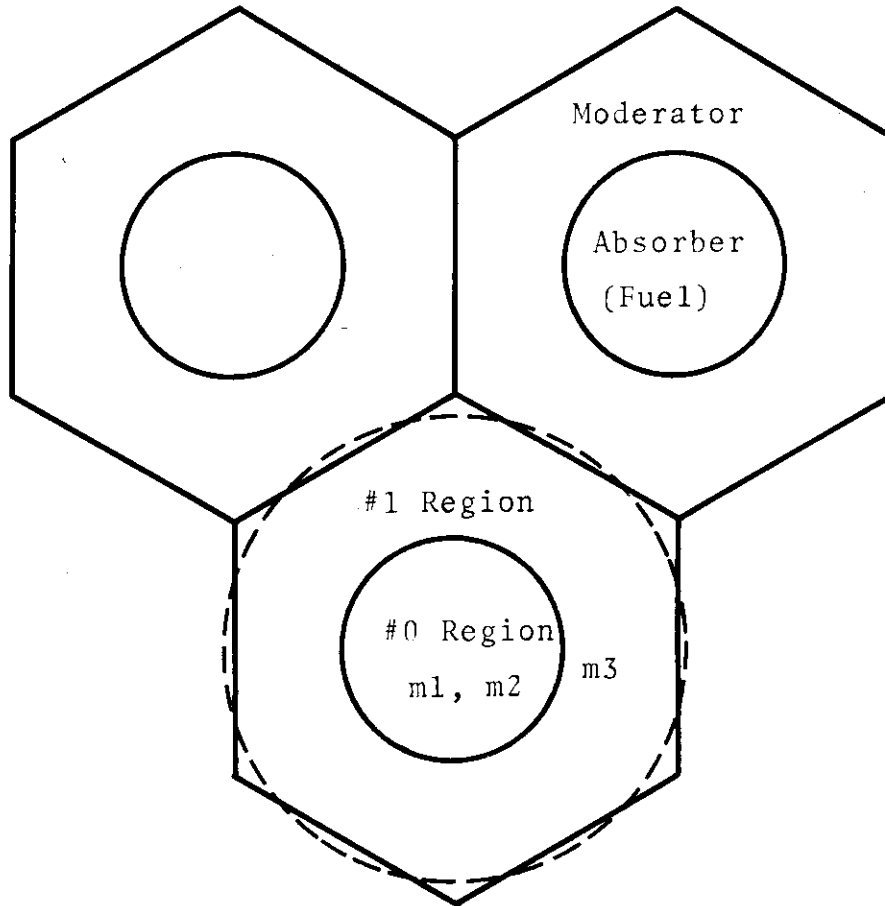


Fig. 4.1 Unit fuel cell

## 5 GGC-4 コードの入力

この章では、実際にGGC-4本体を用いる際の注意事項と、入力形式およびその使用例を示す。最後にエラーメッセージについて記す。

## 5.1 GAMとGATHERにおけるエネルギー構造

ここでは、GGC-4を使用する前に、心得えておくべき事を述べる。最初に、エネルギー構造について示し、次に、GGCの制限事項と、断面積ライブラリーを示す。

GGC-4のGAM領域およびGATHER領域の中では、微細エネルギーグループおよび縮約エネルギーグループが取り扱われている。

## I) 微細エネルギーグループ構造

高速中性子および熱中性子の全エネルギー範囲は微細エネルギーグループ (fine groups) と呼ばれるエネルギー間隔に分割されている (Fig. 2.1参照)。

GAM領域では、[NEP+1]のエネルギー境界を持つ[NEP]の微細エネルギーグループに分割されている。エネルギーの高い方から数えて、これらのグループのうちで[NEP-1]は高速エネルギーとして、残りの[1]グループが、ダンプとして熱エネルギーとして取り扱われる。このエネルギー構造を持つマイクロ断面積データが、Fast data tapeに入っている。ダンプとしての熱エネルギーグループは、微細エネルギー境界[GEN(すなわち、NEP)]より下の熱エネルギー範囲のすべての散乱を含んでいる。

Fast data tapeには、また、GATHER領域の微細エネルギー構造が書かれていて、熱中性子スペクトラム計算の為に中性子源を計算するのに用いられる。GAMコード内におけるエネルギー構造はTable. 5.1に示してある。

GATHER領域は、NRGの微細エネルギー点から成っている。NRGは、それぞれのグループの高い側のエネルギー境界の数でもある。エネルギーの低い方から数えるので最初のエネルギー点の低い側のエネルギー境界 ( $E_0$ ) はゼロである。

これらの熱エネルギーグループ境界 (エネルギー点) それぞれと、それに関するエネルギーデータは、それらに対応するマイクロ断面積とともに、Thermal data tapeに書き込まれている。エネルギー構造についてはTable. 5.2に示してある。

## II) 縮約エネルギーグループ構造

問題を解くにあたって、GGC-4コードの使用者は、一般にGAM領域、GATHER領域ともに、エネルギーについての縮約をしなければならない。縮約エネルギーグループに対するそれぞれのエネルギー境界は、入力で指定される。微細エネルギーグループのマイクロ断面積およびマクロ断面積が、この縮約エネルギーグループについて縮約されて、縮約されたマイクロおよびマクロ断面積となる。

GAM領域の縮約グループ数ENBGが、縮約グループの低い側のエネルギー境界を入力することによって定められる。このエネルギー境界は、必ずしも、微細エネルギー境界と一致しなくてもよい。もし、一致していなければ、最も近い微細エネルギー境界にとって替わる。最初の (最も高いエネルギーの) 縮約グループの高い側の境界は、最初の微細エネルギーグル

ープの高い側の境界に等しくなければならない。最後の(最も低いエネルギーの)縮約グループの低い側の境界は、最も低い微細エネルギーグループの境界(NEP番目のエネルギーグループ)を越えてはならない。99グループまでの(ここでは、縮約しないと同一ことだが)縮約グループ数が許される。

ZNBGケのGATHER領域の縮約グループは、縮約グループの高い側エネルギー境界を入力することによって定められる。これらのエネルギー境界は、微細エネルギー境界と一致していなければならない。最初の(一番高いエネルギーの)縮約グループの高い側の境界は、最初の微細エネルギーグループ(NRG番目のエネルギーグループ)の境界に等しくなくてもよい。ZNBG番目の縮約グループの低い側の境界は、ゼロに等しくセットされる。50グループ数までの縮約が許される。

### III) 縮約1エネルギーグループ

GAM領域およびGATHER領域とも、それぞれ、エネルギーグループ数1に縮約されたマクロ断面積が計算される。GAM領域では、この断面積が全エネルギー範囲を縮約して、得られる。しかしながら、GATHER領域では、このエネルギーグループ数1に縮約される範囲の高い側、OGEを入力によって指定しなければならない。もし、指定しなければ、GATHERの第1縮約エネルギーグループの範囲の高い側の境界に等しくとられる。このときのエネルギーグループの低い側の境界はゼロにセットされる。

IV) GAM領域とGATHER領域との縮約エネルギーグループにおける連結(Fig. 2.2 参照)

GAM領域およびGATHER領域で計算された縮約断面積は、それぞれのResults tapeに書き込まれる(Fig. 1.1 参照)。COMBO領域では、GAM領域の一番低い縮約エネルギーグループの低い側の境界と、GATHER領域の一番高い縮約エネルギーグループの高い側の境界とを0.005 eVの誤差範囲内で、結び付ける作業を行う。この作業が旨く行かなかった(多くは、カード入力の際の間違いであるが)ときは、エラーメッセージがプリントされ、この計算はストップする。このsectionを用いるときの縮約グループ数は、GAM領域およびGATHER領域両方合わせて、50を越えてはならない。

## 5.2 GGC-4の特徴と制限範囲

### GAM(高速中性子)セクション

- 微細エネルギーグループ数は、現在99である。
- 縮約エネルギーグループ数は、99まで許される。ただし、COMBOを用いたときは、GAMおよびGATHER合わせて、50までしか許されない。
- バックリングは、正の実数でなければならない。
- 中性子スペクトラムは、 $P_1$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、あるいは $B_3$ 近似を用いて計算される。
- 6次までの空間モーメントが計算できる。その際、Fermi 年令が算出される。
- 一般の、原子炉設計計画に充分な量の核種が、ライブラリーデータテープに納められている。
- 自己遮蔽因子は、微細エネルギーグループ、あるいは縮約エネルギーグループに対し

て入力することができる。

h) 連続ケース<sup>\*1)</sup>は、原理的には、いくらでも可能であるが、Results tape を用いて、COMBO (GAM と GATHER の連絡) の計算を行うときは、50 ケースを越えてはならない。

i) 中性子スペクトラムを計算する替りに、中性子束および中性子流を入力で読み込んで、これらで平均した縮約断面積を求めることもできる<sup>\*2)</sup>。

j) 共鳴計算では、温度を入力することによって、Doppler 吸収および Doppler 散乱が甲いられている。

k) 共鳴の取り扱いで、燃料セルの吸収体 (普通は燃料棒) の中に2つまでの減速物質が含まれることを許す。この吸収体における吸収の取り扱い方として、狭共鳴 (narrow resonance) 近似、狭共鳴無限大質量 (narrow resonance infinite mass) 近似、あるいは共鳴領域の衝突密度を計算する Nordheim の積分型減速方程式のいずれかが用いられる。吸収体中の2つの減速物質に対しては、衝突密度に漸近形を用いるか、あるいは、厳密に積分型減速方程式を解くか、のいずれかが指定される。

l) 自己遮蔽因子を持つ核種に対しては、マイクロ断面積の平均のときに、自己遮蔽因子を掛けるか掛けないかの選択ができる。

m) 出力プリントには、必ず1グループに縮約されたマクロ断面積が書かれる。

#### GATHER (熱中性子) セクション

a) 微細エネルギーグループ数は、現在101である。

b) 縮約エネルギーグループ数は、50まで許される。ただし、COMBOを用いたときは、GAM および GATHER 合わせて、50までしか許されない。

c) バックリングは、正の実数でなければならない。

d) 中性子スペクトラム計算は、 $P_0$ 、 $P_1$ 、 $B_0$ 、あるいは $B_1$ 近似で行われる。

e) 中性子束の時間モーメントの計算ができる。この計算は、 $P_0$ 近似の中性子を用いて行われる。

f) 1つの問題で、50核種まで取扱うことができる。

g) 自己遮蔽因子は、微細エネルギーグループ、あるいは縮約エネルギーグループの断面積に適応することができる。

h) 連続ケース<sup>\*3)</sup>が可能である。しかし、GATHERに対するResults tapeをCOMBOで用いるときには、50ケースを越えてはならない。

i) スペクトラム計算をする替りに、Maxwell スペクトラムを仮定して、あるいはスペクトラムを外から入力して、平均断面積を求めることもできる。

j)  $P_N$  近似および  $B_N$  近似を反復法で解くときの最初の中性子束は、次のいずれかから選ばれる。

\*1) 現在のFACOM版では、連続ケースはできない。間もなくFartran-Hが使えるので、そうしたら可能である。

\*2) 拡散係数は(3.13)式によって、入力したスペクトラムから算出される。しかし本来の物質の拡散係数は、(3.11)又は(3.12)式から求めなければならない。

\*3) \*1) 参照。

- イ) Maxwell 型中性子束
- ロ) 定数中性子束
- ハ) 前回の問題で得られた中性子束および中性子流
- ニ) カードで入力された中性子束および中性子流

こゝで、イ)とロ)の場合は、 $P_1$  および  $B_1$  近似に対しての中性子流は、中性子束から計算される。

k) 中性子束および中性子流を求めるときに、正規化補外 Gauss 反復法 (Normalized extrapolated Gaussian iteration) が用いられる。このときの外挿パラメータは、入力で指定できるが、入力しないときは 1.2 ととられる。中性子束および中性子流の収束因子は、入力もできるが、入力しないときは、0.00001 が用いられる。最大反復回数も入力で指定できるが、入力しないときは、300回が用いられる。指定された条件内で、収束しなかったならば、そのときの状況がプリントされる。しかし、皆く行っているときは、そのまま、次の問題まで進む。

l) 自己遮蔽因子を持つ核種に対しては、マイクロ断面積の平均のときに、自己遮蔽因子を掛けるか、掛けないかの選択ができる。

m) 縮約 1 グループのマクロ断面積が、ゼロエネルギーから、入力された上限エネルギーの範囲に対して得られる。

n) 問題を解くときには、少なくともひとつの減速物質 (核種) ……すなわち、散乱マトリックスを持った物質 ……が存在しなければならない。

#### COMBO (GAM と GATHER の連結) セクション

a) こゝでは三つのタイプの問題が取り扱われる。縮約断面積データは、GAMのみからか、または GATHERのみから得られるか、あるいは GAM と GATHER の結果を連結することによって得られる。これら 3 つのタイプの問題が、GGC-4 の中で、別々に取り扱うことができる。

b) 縮約されたマイクロ断面積やマクロ断面積は、標準的な拡散計算コード<sup>\*4)</sup> および輸送計算コード<sup>\*5)</sup> の為の入力形式で、パンチカードとして出力される。

c) マイクロ断面積データは、核種に対するものとして、カードパンチされる。

d) GAM あるいは GATHER の問題から解いて得られた断面積データが、ひとつの問題に対して COMBO で用いられ、その後で同じデータを他の問題へ再び用いることも可能である。例えば、或る GAM の問題から得られた断面積データをいくつかの GATHER の問題から得られた断面積データと連結することができる。同様に、或る GATHER からの断面積データを他で再び用いることもできる。

e) GAM および GATHER の縮約エネルギーグループ数の合計は 50 を越えてはならない。

\*4) GURNET (一次元拡散)<sup>15)</sup> および EXTERMINATOR 2 (二次元拡散)<sup>14)</sup> の入力へは変換プログラムが必要である。付録 B 参照。

DTF-N<sup>12)</sup> および TWO TRAN<sup>13)</sup> の入力形式と同じであるが、両者には若干の相異がある。第 5.5.2 節参照。



f) GAM領域の一番低い縮約エネルギーグループの低い側の境界とGATHER領域の一番高い縮約エネルギーグループの高い側の境界は一致(その差0.005 eV以内で)していなければならない。この条件が満たされていないときは、エラーメッセージが出て、計算は中止される。

g) 水素を除くすべての減速物質に対して、COMBOでは、GATHERの一番高い縮約エネルギーグループのみへGAMから下方散乱が入り込むように充分広いエネルギー巾をとることを仮定している。水素に対しては、GAMからの下方散乱が、GATHERの縮約エネルギーグループのすべてに亘るように、ふり分けられる(Fig. 2.2参照)。

GAM領域の一番低い縮約エネルギーグループは、GATHER領域からの上方散乱が、そこへ入ってこれるように充分に広いエネルギー巾を持っていることを仮定している(Fig. 2.2参照)。GAM領域への上方散乱をゼロにするかどうかは、入力で指定される。

### 5.3 断面積ライブラリー

マスターデータライブラリー(約200核種)<sup>\*</sup>から、現存の原子炉の核計算に必要と思われる核種を選び出して、ワーキングデータテープを作ったので、ここに紹介しておく。

GAM甲のデータテープは、54核種からなっておりその内容はTable. 5.3に示してある。GATHER甲のデータテープは75核種からなっており、その内容はTable. 5.4に示してある。核種は、これらのデータテープから、I.D.NUMBERを指定することによって呼び出される。

### 5.4 入力形式と使用例

この章の前節までにGGCコードの使用上の注意については述べてあるので、ここでは、入力形式と使用例を記す。入力形式はTable. 5.5 Aに、GAMセクション(Fast section)、Table. 5.5 BにGATHERセクション(Thermal section)およびTable. 5.5 CにCOMBOセクション(Combining section)の順に示してあるので、エネルギー構造のテーブル(Table 5.1と5.2)や断面積ライブラリー(Table 5.3と5.4)を参照して入力カードを作成して頂きたい。

使用例は通常我々が使用すると思われる代表例を4つ掲げてある。これらのTableは例えばTable 5.6 AとTable 5.6 Bがひと組となっていて、Aが付いているのはコントロールカードを含めた入力カードのFACOMにおけるセットアップデータを示し、Bが付いているのは出力カードのリストである。出力プリントは非常に明解であるので省略したが出力カードに付いては説明の必要があると思われるので次節で述べる。GGC-4の特徴は今までの節で述べてきたように、GAMセクションとGATHERセクションを別別に計算して、それぞれのResults tapeに、計算結果の群定数断面積をストアーしておき、COMBOセクションで、これらのテープから断面積を呼び込んで、再編成した後、臨界計算用の群定数セットを作

\* ) GGAで作成した元のマスターライブラリーからZr H炉系のデータを削除したのが現在原研にあるマスターライブラリーのようである。

ることにある。したがって、何回も使うときにはこれらの特徴を利用すれば便利なが多いので使用例にはこのことが考慮されている。

Table 5.6は、非炉心の例(軽水)で、GAM, GATHER, COMBOとひと息に全セクションを計算して詳定数セットを求めている。Table 5.7からTable 5.9は炉心(JP2 2.6%濃縮炉心)計算の例である。Table 5.7はTable 5.6と同様に全セクションを通して計算した例で、Table 5.8はGATHERセクションは計算しないで、既に作成されているResults tapeからのデータを用いた例で、Table 5.9はGAMセクションを計算しないで、既に作成されているResults tapeからのデータを用いた例である。これら使用例の計算時間は、Table 5.10にまとめてある。尚、既にGAMおよびGATHERに対するResults tapeが存在すればCOMBOセクションのみ実行して詳定数セットを得ることもできる。そのときは、GAMおよびGATHERセクションを実行しない指定(card 1およびcard 20参照)にして、COMBOセクションのみ実行させればよい。

出力プリントの中で、GAMセクションの中で中性子分布のすぐ後に出てくる縮約グループのFISSION SOURCEは核分裂スペクトラム( $\chi$ )のことであり、中性子速度は、GAMセクション、GATHERセクション共、m/secの単位で示されている。

5.5 出力カードと群定数セット作成上の注意

出力カードはGAMセクション, GATHERセクション, COMBOセクションの順で6E12.5のフォーマットで出てくる。大体, 各データにはコメントカードも付いているので, 出力プリントと合わせて眺めればデータの内容は理解できる。しかし, コメントのないのもあり, また, 群定数セットのように更に説明の要すると思われるものもある。

出力カードは, まづGAMセクションからは, 中性子束, 中性子流,  $P_0$ 成分および $P_1$ 成分のGATHERセクションの為の中性子源の順で, 続いてGATHERセクションからは, 中性子束, 中性子流の順で出力される。最後に, COMBOセクションからは拡散コード用群定数セット, 輸送コード用群定数セットの順に出力されるが, 若干説明を加える。

これらの群定数は, ミクロあるいはマクロ断面積でパンチ出力されるが, 拡散コードに対する形式の方がCOMBOの入力の際において汎用性に富んでいる。

以下に, これら断面積セットの内容について述べるがついでにこの断面積セット作成上の注意についても述べる。説明の中で, 「card  の word 」はCOMBOセクションに対する入力パラメータであるので, 入力形式の項 (Table 5.5 C) を参照されたい。

5.5.1 拡散コードに対する出力断面積形式<sup>2) 16)</sup>

記号の定義を次のようにしておく ( $\sigma$  はマクロ断面積) :

- G エネルギーグループの数 (GAM領域とGATHER領域の和)
  - F GAM領域のエネルギーグループの数
  - G - F GATHER領域のエネルギーグループの数
  - g エネルギーグループの指標 (  $g = 1$  が最も高いエネルギーグループ,  $g = G$  が最も低いエネルギーグループ )
  - $\nu^g$  エネルギーグループ  $g$  の中性子による核分裂放出中性子の平均数
  - $\sigma_f^g$  エネルギーグループ  $g$  に対する核分裂断面積
  - $\sigma_c^g$  エネルギーグループ  $g$  に対する捕獲吸収断面積,  
card 44 の word 3=0 のときは
- $$\sigma_c^g = \sigma^g(n, \gamma) + \sigma^g(n, \alpha) + \sigma^g(n, p) \quad (5.1)$$
- card 44 の word 3=1 のときは
- $$\sigma_c^g = \sigma^g(n, \gamma) \quad (5.2)$$
- $\sigma_{tr}^g$  エネルギーグループ  $g$  に対する輸送断面積
  - $D^g$  エネルギーグループ  $g$  に対する拡散係数 =  $\frac{1}{3\sigma_{tr}^g}$
  - $\sigma^g(n, \gamma)$  エネルギーグループ  $g$  に対する (  $n, \gamma$  ) 断面積
  - $\sigma^g(n, \alpha)$  エネルギーグループ  $g$  に対する (  $n, \alpha$  ) 断面積
  - $\sigma^g(n, p)$  エネルギーグループ  $g$  に対する (  $n, p$  ) 断面積

$\sigma_{s, elastic}^{g \rightarrow g'}$  エネルギーグループ  $g$  から  $g'$  への弾性散乱断面積

$\sigma_{s, inel}^{g \rightarrow g'}$  エネルギーグループ,  $g$  から  $g'$  への非弾性散乱断面積

$\sigma_s^{g \rightarrow g'}$  エネルギーグループ,  $g$  から  $g'$  への散乱断面積

$$\sigma_s^{g \rightarrow g'} = \sigma_{s, elastic}^{g \rightarrow g'} + \sigma_{s, inel}^{g \rightarrow g'}$$

$\sigma_{(n, 2n)}^{g \rightarrow g'}$  エネルギーグループ  $g$  から  $g'$  への  $(n, 2n)$  断面積

$\sigma^{g \rightarrow g'}$  エネルギーグループ,  $g$  から  $g'$  への全散乱断面積

card 44 の word 3=0 のときは,

$$\sigma^{g \rightarrow g'} = \sigma_s^{g \rightarrow g'} + 2\sigma_{(n, 2n)}^{g \rightarrow g'} \quad (5.3)$$

card 44 の word 3=1 のときは

$$\sigma^{g \rightarrow g'} = \sigma_s^{g \rightarrow g'} \quad (5.4)$$

$\sigma_{tot(n, 2n)}^g$  エネルギーグループ  $g$  に対する全  $(n, 2n)$  断面積

$$\sigma_{tot(n, 2n)}^g = \sum_{\substack{g'=1 \\ (g' \neq g)}^G} \sigma_{(n, 2n)}^{g \rightarrow g'} \quad (5.5)$$

したがって, 多群の拡散方程式は, 次式で与えられるとすると:

$$-\nabla D^g \nabla \phi^g + \sigma^g \phi^g - \sum_{\substack{g'=1 \\ (g' \neq g)}^G} \sigma^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} = \frac{1}{k} \sum_{g'=1}^G f^{g' \rightarrow g} \phi^{g'} \quad (5.6)$$

$$g=1, 2, \dots, G$$

このとき,  $\sigma^g$  は次式で計算される:

card 44 の word 3=0 のときは,

$$\sigma^g = \sigma_c^g + \sigma_f^g + \sum_{\substack{g'=1 \\ (g' \neq g)}^G} \sigma^{g \rightarrow g'} - \sigma_{tot(n, 2n)}^g \quad (5.7)$$

card 44 の word 3=1 のときは

$$\sigma^g = \sigma_c^g + \sigma_f^g + \sigma_{(n, \alpha)}^g + \sigma_{(n, p)}^g + \sum_{\substack{g'=1 \\ (g' \neq g)}^G} \sigma^{g \rightarrow g'} - \sigma_{tot(n, 2n)}^g \quad (5.8)$$

また,  $f^{g' \rightarrow g}$  は次式で計算される

card 44 の word 3=0 のときは

$$f^{g' \rightarrow g} = \chi^{g'} \nu^{g'} \sigma_f^{g' \rightarrow g} \quad (5.9)$$

card 44 の word 3 = 1 のときは

$$\sigma_f^{g' \rightarrow g} = \chi^g \nu^g \sigma_f^{g'} + 2 \sigma_{(n, 2n)}^{g' \rightarrow g} \quad (5.10)$$

云いかえれば、(n, 2n) 反応は、散乱マトリックスの中に取り入れるか、あるいは核分裂マトリックスの中に取り入れるかである。臨界原子炉 (k=1) に対しては、このふたつの方法は、同じ基本モードを与える点において同等である。出力カードの断面積の内容は、Table 5.11 に示してある。この断面積形式は GAMBLE-5 コード<sup>16)</sup> の入力形式と一致している。

### 5.5.2 輸送コードに対する出力断面積形式<sup>2)12)13)</sup>

記号の定義を次のようにしておく (σ はマクロ核断面積) :

- G エネルギーグループの数 (GAM領域とGATHER領域の和)
  - g エネルギーグループの指標 (g=1 が最も高いエネルギーグループ, g=G が最も低いエネルギーグループ)
  - NUP 上方散乱のエネルギーグループの最大数
  - NDOWN 下方散乱のエネルギーグループの最大数
- NUP および NDOWN は、g, 1 (下に示す)、核種に対して、共通に用いられる。

- $\sigma_{tr}^g$  エネルギーグループ g に対する輸送断面積
- $\sigma_a^g$  エネルギーグループ g に対する吸収断面積

$$\sigma_a^g = \sigma_{(n, \gamma)}^g + \sigma_{(n, \alpha)}^g + \sigma_{(n, p)}^g + \sigma_f^g \quad (5.11)$$

- $\sigma_{s, \ell}^{g' \rightarrow g}$  エネルギーグループ, g' から g への散乱マトリックスの展開係数 (ℓ は、ルジャンドル多項式展開係数の次数)

$$\sigma_{s, 0}^{g' \rightarrow g} = \sigma_{scatter, 0}^{g' \rightarrow g} + 2 \sigma_{(n, 2n)}^{g' \rightarrow g} \quad (5.12)$$

- $\sigma_{tot}^g$  エネルギーグループ g に対する全断面積

$$\sigma_{tot}^g = \sigma_a^g + \sum_{g'=1}^G \sigma_{s, 0}^{g \rightarrow g'} - \sum_{g'=1}^G \sigma_{(n, 2n)}^{g \rightarrow g'} \quad (5.13)$$

こゝで、板状形を例にとると輸送方程式は次式で与えられる :

$$\mu \frac{\partial \psi^g}{\partial x} + \sigma_{tot}^g \psi^g = S^g$$

$$S^g = \sum_{\ell=0}^L \frac{2\ell+1}{2} P_\ell(\mu) \sum_{g'=1}^G \sigma_{s, \ell}^{g' \rightarrow g} \int_{-1}^{+1} P_\ell(\mu') \psi^{g'}(x, \mu') d\mu'$$

$$+ \frac{1}{k} \chi^g \sum_{g'=1}^G \nu \sigma_f^{g'} \cdot \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} \psi^g(x, \mu') d\mu' \quad (5.14)$$

輸送コードによっては、上方散乱断面積の取り扱いが若干異なる。一般に輸送コードでは、拡散コードと違って散乱断面積は、自己散乱 ( $\sigma_s^{g \rightarrow g}$ ) を中心に、そのグループに入射してくる配列になっている。DTF-W<sup>12)</sup>では、上方散乱配列の前に  $\sigma_{up}^g$  を入力しなければならないが、TWO TRAN<sup>13)</sup>では  $\sigma_{up}^g$  の入力は不要で、 $\sigma_{up}^g$  はコード内で計算してくれる。ここで、 $\sigma_{up}^g$  は、次式で定義されるものであるが、上方散乱が存在したときの外側取束の加速に用いられる量である：

$$\sigma_{up}^g = \sum_{g'=1}^{g-1} \sigma_{s,0}^{g \rightarrow g'} \quad (5.15)$$

したがって、DTF-W型断面積が必要なときは、card 47 の word 1 に [NUP (上方散乱の数) + 1] を入力する。その結果得られた出力カードの IHT + 1 の欄に、(5.15) 式に従って手計算なりで計算した  $\sigma_{up}^g$  をパンチしなければならない。DTF-W型と TWO TRAN型の相違を Fig. 5.1 に図示してある。

尚、出力カードの断面積の内容は、Table 5.12 に示してある。

## 5.6 フローチャートの概要とエラーメッセージ<sup>2)</sup>

我々の経験では、GGU-4コードで現われてくるエラーメッセージは非常にわかりやすかったため、エラーメッセージのTableは参照せずに済んだが、参考のために、Fig. 5.2にフローチャートの概要をTable 5.13にエラーメッセージ表を付けておいたので参照されたい。

Table 5.1 Fine energy-group structure for GAM code

FINE GROUP STRUCTURE

GROUP	ENERGY INTERVAL (E.V.)		LETHARGY INTERVAL		MID-POINT ENERGY
1	1.491825E 07	TC 1.349859E 07	-4.00000E-01	TO -3.00000E-01	1.420842E 07
2	1.349859E 07	TO 1.221403E 07	-3.00000E-01	TO -2.00000E-01	1.285631E 07
3	1.221403E 07	TO 1.105171E 07	-2.00000E-01	TO -1.00000E-01	1.163287E 07
4	1.105171E 07	TO 1.000000E 07	-1.00000E-01	TO 0.0	1.052585E 07
5	1.000000E 07	TO 9.048374E 06	0.0	TO 1.00000E-01	9.524187E 06
6	9.048374E 06	TO 8.187307E 06	1.00000E-01	TO 2.00000E-01	8.617841E 06
7	8.187307E 06	TC 7.408182E 06	2.00000E-01	TO 3.00000E-01	7.797745E 06
8	7.408182E 06	TO 6.703200E 06	3.00000E-01	TO 4.00000E-01	7.055691E 06
9	6.703200E 06	TO 6.065307E 06	4.00000E-01	TO 5.00000E-01	6.384253E 06
10	6.065307E 06	TO 5.488116E 06	5.00000E-01	TO 6.00000E-01	5.776711E 06
11	5.488116E 06	TC 4.965853E 06	6.00000E-01	TO 7.00000E-01	5.226985E 06
12	4.965853E 06	TO 4.493290E 06	7.00000E-01	TO 8.00000E-01	4.729571E 06
13	4.493290E 06	TO 4.065697E 06	8.00000E-01	TO 9.00000E-01	4.279493E 06
14	4.065697E 06	TO 3.678795E 06	9.00000E-01	TO 1.00000E 00	3.872246E 06
15	3.678795E 06	TO 3.328711E 06	1.00000E 00	TO 1.10000E 00	3.503753E 06
16	3.328711E 06	TC 3.011942E 06	1.10000E 00	TO 1.20000E 00	3.170327E 06
17	3.011942E 06	TO 2.725318E 06	1.20000E 00	TO 1.30000E 00	2.868630E 06
18	2.725318E 06	TO 2.465970E 06	1.30000E 00	TO 1.40000E 00	2.595644E 06
19	2.465970E 06	TC 2.231302E 06	1.40000E 00	TO 1.50000E 00	2.348636E 06
20	2.231302E 06	TO 2.018965E 06	1.50000E 00	TO 1.60000E 00	2.125133E 06
21	2.018965E 06	TO 1.826835E 06	1.60000E 00	TO 1.70000E 00	1.922900E 06
22	1.826835E 06	TO 1.652989E 06	1.70000E 00	TO 1.80000E 00	1.739912E 06
23	1.652989E 06	TO 1.445686E 06	1.80000E 00	TO 1.90000E 00	1.574338E 06
24	1.445686E 06	TO 1.353353E 06	1.90000E 00	TO 2.00000E 00	1.424520E 06
25	1.353353E 06	TC 1.224564E 06	2.00000E 00	TO 2.10000E 00	1.288959E 06
26	1.224564E 06	TO 1.108032E 06	2.10000E 00	TO 2.20000E 00	1.166298E 06
27	1.108032E 06	TO 1.002589E 06	2.20000E 00	TO 2.30000E 00	1.055310E 06
28	1.002589E 06	TO 9.071796E 05	2.30000E 00	TO 2.40000E 00	9.548841E 05
29	9.071796E 05	TC 8.208501E 05	2.40000E 00	TO 2.50000E 00	8.640149E 05
30	8.208501E 05	TO 7.427359E 05	2.50000E 00	TO 2.60000E 00	7.817930E 05
31	7.427359E 05	TC 6.720552E 05	2.60000E 00	TO 2.70000E 00	7.073955E 05
32	6.720552E 05	TO 6.081007E 05	2.70000E 00	TO 2.80000E 00	6.400780E 05
33	6.081007E 05	TO 5.502323E 05	2.80000E 00	TO 2.90000E 00	5.791665E 05
34	5.502323E 05	TO 4.978708E 05	2.90000E 00	TO 3.00000E 00	5.240515E 05
35	4.978708E 05	TC 4.504921E 05	3.00000E 00	TO 3.10000E 00	4.741814E 05
36	4.504921E 05	TO 4.076221E 05	3.10000E 00	TO 3.20000E 00	4.290571E 05
37	4.076221E 05	TO 3.688317E 05	3.20000E 00	TO 3.30000E 00	3.882269E 05
38	3.688317E 05	TO 3.337327E 05	3.30000E 00	TO 3.40000E 00	3.512822E 05
39	3.337327E 05	TC 3.019739E 05	3.40000E 00	TO 3.50000E 00	3.178533E 05
40	3.019739E 05	TO 2.732373E 05	3.50000E 00	TO 3.60000E 00	2.876056E 05
41	2.732373E 05	TO 2.472353E 05	3.60000E 00	TO 3.70000E 00	2.602363E 05
42	2.472353E 05	TO 2.237078E 05	3.70000E 00	TO 3.80000E 00	2.354715E 05
43	2.237078E 05	TO 2.024192E 05	3.80000E 00	TO 3.90000E 00	2.130635E 05
44	2.024192E 05	TO 1.831564E 05	3.90000E 00	TO 4.00000E 00	1.927878E 05
45	1.831564E 05	TO 1.657268E 05	4.00000E 00	TO 4.10000E 00	1.744416E 05
46	1.657268E 05	TO 1.499558E 05	4.10000E 00	TO 4.20000E 00	1.578413E 05
47	1.499558E 05	TO 1.356856E 05	4.20000E 00	TO 4.30000E 00	1.428207E 05
48	1.356856E 05	TO 1.227734E 05	4.30000E 00	TO 4.40000E 00	1.292295E 05
49	1.227734E 05	TC 1.110900E 05	4.40000E 00	TO 4.50000E 00	1.169317E 05
50	1.110900E 05	TO 8.651698E 04	4.50000E 00	TO 4.75000E 00	9.880349E 04

Table 5.1 (Continued)

FINE GROUP STRUCTURE

GROUP	ENERGY INTERVAL (E.V.)		LETHARGY INTERVAL		MID-POINT ENERGY
51	8.651698E 04	TO 6.737949E 04	4.75000E 00	TO 5.00000E 00	7.694824E 04
52	6.737949E 04	TO 5.247520E 04	5.00000E 00	TO 5.25000E 00	5.992735E 04
53	5.247520E 04	TO 4.086773E 04	5.25000E 00	TO 5.50000E 00	4.667147E 04
54	4.086773E 04	TO 3.182782E 04	5.50000E 00	TO 5.75000E 00	3.634777E 04
55	3.182782E 04	TO 2.478753E 04	5.75000E 00	TO 6.00000E 00	2.830768E 04
56	2.478753E 04	TO 1.930455E 04	6.00000E 00	TO 6.25000E 00	2.204604E 04
57	1.930455E 04	TO 1.503440E 04	6.25000E 00	TO 6.50000E 00	1.716947E 04
58	1.503440E 04	TO 1.170880E 04	6.50000E 00	TO 6.75000E 00	1.337160E 04
59	1.170880E 04	TO 9.118823E 03	6.75000E 00	TO 7.00000E 00	1.041381E 04
60	9.118823E 03	TO 7.101746E 03	7.00000E 00	TO 7.25000E 00	8.110285E 03
61	7.101746E 03	TO 5.530846E 03	7.25000E 00	TO 7.50000E 00	6.316296E 03
62	5.530846E 03	TO 4.307427E 03	7.50000E 00	TO 7.75000E 00	4.919136E 03
63	4.307427E 03	TO 3.354627E 03	7.75000E 00	TO 8.00000E 00	3.831027E 03
64	3.354627E 03	TO 2.612586E 03	8.00000E 00	TO 8.25000E 00	2.983607E 03
65	2.612586E 03	TO 2.034684E 03	8.25000E 00	TO 8.50000E 00	2.323635E 03
66	2.034684E 03	TO 1.584614E 03	8.50000E 00	TO 8.75000E 00	1.809649E 03
67	1.584614E 03	TO 1.234098E 03	8.75000E 00	TO 9.00000E 00	1.409356E 03
68	1.234098E 03	TO 9.611169E 02	9.00000E 00	TO 9.25000E 00	1.097608E 03
69	9.611169E 02	TO 7.485186E 02	9.25000E 00	TO 9.50000E 00	8.548177E 02
70	7.485186E 02	TO 5.829468E 02	9.50000E 00	TO 9.75000E 00	6.657327E 02
71	5.829468E 02	TO 4.539995E 02	9.75000E 00	TO 1.00000E 01	5.184731E 02
72	4.539995E 02	TO 3.535751E 02	1.00000E 01	TO 1.02500E 01	4.037873E 02
73	3.535751E 02	TO 2.753646E 02	1.02500E 01	TO 1.05000E 01	3.144699E 02
74	2.753646E 02	TO 2.144542E 02	1.05000E 01	TO 1.07500E 01	2.449094E 02
75	2.144542E 02	TO 1.670171E 02	1.07500E 01	TO 1.10000E 01	1.907356E 02
76	1.670171E 02	TO 1.300730E 02	1.10000E 01	TO 1.12500E 01	1.485450E 02
77	1.300730E 02	TO 1.015010E 02	1.12500E 01	TO 1.15000E 01	1.156870E 02
78	1.015010E 02	TO 7.889328E 01	1.15000E 01	TO 1.17500E 01	9.009712E 01
79	7.889328E 01	TO 6.144215E 01	1.17500E 01	TO 1.20000E 01	7.016771E 01
80	6.144215E 01	TO 4.785119E 01	1.20000E 01	TO 1.22500E 01	5.464667E 01
81	4.785119E 01	TO 3.726655E 01	1.22500E 01	TO 1.25000E 01	4.255887E 01
82	3.726655E 01	TO 2.902321E 01	1.25000E 01	TO 1.27500E 01	3.314488E 01
83	2.902321E 01	TO 2.260330E 01	1.27500E 01	TO 1.30000E 01	2.581326E 01
84	2.260330E 01	TO 1.760347E 01	1.30000E 01	TO 1.32500E 01	2.010339E 01
85	1.760347E 01	TO 1.370960E 01	1.32500E 01	TO 1.35000E 01	1.565653E 01
86	1.370960E 01	TO 1.067704E 01	1.35000E 01	TO 1.37500E 01	1.219332E 01
87	1.067704E 01	TO 8.315290E 00	1.37500E 01	TO 1.40000E 01	9.496167E 00
88	8.315290E 00	TO 6.475955E 00	1.40000E 01	TO 1.42500E 01	7.395622E 00
89	6.475955E 00	TO 5.043478E 00	1.42500E 01	TO 1.45000E 01	5.759717E 00
90	5.043478E 00	TO 3.927865E 00	1.45000E 01	TO 1.47500E 01	4.485672E 00
91	3.927865E 00	TO 3.059024E 00	1.47500E 01	TO 1.50000E 01	3.493445E 00
92	3.059024E 00	TO 2.382371E 00	1.50000E 01	TO 1.52500E 01	2.720697E 00
93	2.382371E 00	TO 1.855392E 00	1.52500E 01	TO 1.55000E 01	2.118881E 00
94	1.855392E 00	TO 1.444981E 00	1.55000E 01	TO 1.57500E 01	1.650186E 00
95	1.444981E 00	TO 1.125352E 00	1.57500E 01	TO 1.60000E 01	1.285166E 00
96	1.125352E 00	TO 8.764252E-01	1.60000E 01	TO 1.62500E 01	1.000889E 00
97	8.764252E-01	TO 6.825607E-01	1.62500E 01	TO 1.65000E 01	7.794930E-01
98	6.825607E-01	TO 5.315788E-01	1.65000E 01	TO 1.67500E 01	6.070697E-01
99	5.315788E-01	TO 4.139940E-01	1.67500E 01	TO 1.70000E 01	4.727864E-01



Table 5.2 Fine energy-group structure for GATHER code

DATA TAPE LABEL IS = NEW THERMAL SHORT TAPE JAN.15 1975  
 NUMBER OF NUCLIDES = 75  
 NUMBER OF ENERGY POINTS= 101

POINT	ENERGY-EV	POINT	ENERGY-EV	POINT	ENERGY-EV
1	0.0010	2	0.0020	3	0.0040
4	0.0050	5	0.0070	6	0.0080
7	0.0100	8	0.0150	9	0.0200
10	0.0253	11	0.0300	12	0.0400
13	0.0500	14	0.0600	15	0.0650
16	0.0700	17	0.0750	18	0.0800
19	0.0850	20	0.0900	21	0.0950
22	0.1000	23	0.1200	24	0.1400
25	0.1600	26	0.1800	27	0.2000
28	0.2200	29	0.2300	30	0.2400
31	0.2500	32	0.2600	33	0.2700
34	0.2800	35	0.2900	36	0.3000
37	0.3100	38	0.3200	39	0.3300
40	0.3400	41	0.3500	42	0.3600
43	0.3800	44	0.4140	45	0.4200
46	0.4300	47	0.4500	48	0.4600
49	0.4700	50	0.4750	51	0.4800
52	0.4900	53	0.5000	54	0.5320
55	0.5500	56	0.5750	57	0.5700
58	0.6000	59	0.6250	60	0.6500
61	0.6830	62	0.7000	63	0.7500
64	0.8000	65	0.8500	66	0.8760
67	0.8900	68	0.9100	69	0.9300
70	0.9500	71	0.9700	72	0.9800
73	0.9900	74	1.0000	75	1.0250
76	1.0500	77	1.0600	78	1.0700
79	1.0800	80	1.0900	81	1.1100
82	1.1250	83	1.1300	84	1.1500
85	1.2000	86	1.2500	87	1.3000
88	1.3500	89	1.4400	90	1.5000
91	1.6000	92	1.7000	93	1.7800
94	1.8600	95	1.9000	96	2.0000
97	2.1000	98	2.2000	99	2.2900
100	2.3300	101	2.3800		

Table 5.3 Working data tape for GAM code

GGC-4 FAST TAPE CONTAINS  
 I.D. NUMBER= 1973  
 NUMBER OF FAST ENERGY BOUNDARIES= 100  
 NUMBER OF THERMAL ENERGY POINTS = 101

TAPE DESCRIPTION  
 NEW  
 FAST  
 SHORT  
 TAPE  
 NOV.21 1973  
 NUMBER OF NUCLIDES ON THIS TAPE = 54

NUMBER OF NUCLIDES = 54

NUCLIDE I.D. NUMBER NUCLIDE DESCRIPTION

- 49.00000 INDIUM
- 50.00000 IODINE
- 54.13500 XENON 135
- 54.61800 SUS 304 FROM AGN TM-407
- 54.65800 SUS 321 FROM AGN TM-407
- 54.68400 SUS 347 FROM AGN TM-407
- 55.28900 SUS 316 FROM AGN TM-407
- 58.46100 INCONEL FROM AGN TM-407
- 58.62700 HASTELLOY-X FROM AGN TM-407
- 59.13200 INCONEX-X FROM AGN TM-407
- 62.14900 SAMARIUM 149
- 64.00000 GADOLINIUM NATURAL
- 72.00000 HAFNIUM NATURAL DECEMBER 1966
- 73.00000 TANTALUM NATURAL APRIL 1966
- 74.00000 TUNGSTEN GA-5885
- 90.23200 THORIUM 232 EVAL APRIL 1965
- 91.23300 PROTACTINIUM 233 FEBRUARY 1965
- 91.33690 ZRY-4 FROM JAERI-M 4881
- 91.34960 ZRY-2 FROM JAERI-M 4881
- 92.23330 URANIUM 233 GA BEST FIT FEB 1965
- 92.23500 URANIUM 235 NASA REPORT
- 92.23800 URANIUM 238 NASA REPORT JAN 1965
- 92.23810 URANIUM 238 RESONANCE NASA REPORT JAN 1965
- 94.23900 PLUTONIUM 239 GA 6576
- 94.24000 PLUTONIUM 240 GA 6576

JAERI-M 5991

Table 5.3 (Continued)

NUMBER OF NUCLIDES = 54

NUCLIDE I.D. NUMBER	NUCLIDE DESCRIPTION	
1.000000	HYDROGEN	
1.200000	DEUTERIUM	
3.000000	LITHIUM	
4.000000	BERYLLIUM	GA-5905
5.000000	BORON NATURAL	
5.010000	BORON	10
6.000000	CARBON	
8.000000	OXYGEN	
11.000000	SODIUM	
13.000000	ALUMINUM	GA-5884
14.000000	SILICON	
15.000000	PHOSPHORUS	
16.000000	SULFUR	
22.000000	TITANIUM	
24.000000	CHROMIUM	
25.000000	MANGANESE	
26.000000	IRON	
27.000000	COBALT	
28.000000	NICKEL	
29.000000	COPPER	
40.000000	ZIRCONIUM	
41.095000	NIOBIUM	EVAL APRIL 1965
42.000000	MOLYBDENUM	
47.000000	SILVER	
48.000000	CADMIUM	

NUMBER OF NUCLIDES = 54

NUCLIDE I.D. NUMBER	NUCLIDE DESCRIPTION	
94.24010	PLUTONIUM	240 RESONANCE GA 6576
94.24100	PLUTONIUM	241 GA 6576
94.24120	PLUTONIUM	241 ENDF/B DATA JANUARY 1967
94.24200	PLUTONIUM	242 GA 6576

\*\*\*\*\* TAPE LISTING COMPLETED

\* END OF FORTRAN \*

Table 5.4 Working data tape for GATHER code

DATA TAPE LABEL = NEW THERMAL SPOUT TAPE JAN.15 1975  
 NUMBER OF NUCLIDES = 75

NUCLIDE I.D. NUMBER	NUCLIDE DESCRIPTION
1.003021	HYDROGEN IN H2O 300K (27C) P0+P1 GAKER TO 2.38EV BOUND SOURCE 1/V(.332B)
1.003030	HYDROGEN IN POLYETHYLENE 300K P0+P1 SUMMIT(TO 1EV)+GAS(1267.15K) 1/V
1.003044	HYDROGEN IN ZRH 300K GAKER + GAS. BOUND SOURCE. 1/V (.332 B)
1.003424	HYDROGEN IN H2O 343K (70C) P0+P1 GAKER TO 2.38EV BOUND SOURCE 1/V(.332B)
1.003724	HYDROGEN IN H2O 373K(100C) P0+P1 GAKER TO 2.38EV BOUND SOURCE 1/V(.332B)
1.004721	HYDROGEN IN H2O 473K(200C) P0+P1 GAKER TO 2.38EV BOUND SOURCE 1/V(.332B)
1.005821	HYDROGEN IN H2O 583K(310C) P0+P1 GAKER TO 2.38EV BOUND SOURCE 1/V(.332B)
1.005920	HYDROGEN IN H2O 589K (600F) P0+P1 GAKER(TO 1EV)+GAS(1269.37K)1/V(.332B)
1.012010	HYDROGEN 1200K P0+P1 GAS KERNEL (1/V SIGMA0=.332B)
1.203020	DEUTERIUM IN D2O 300K P0+P1 GAKER(TO 1EV)+GAS(389.19K).1/V(.46MB)012963
3.000000	LITHIUM (NATURAL)
4.003010	BERYLLIUM 300K P0+P1 GAS KERNEL (1/V SIGMA0=10 MB)
4.003020	BERYLLIUM (METAL) 300K ( 27C) P0 + P1 SUMMIT TO 2.38EV. 1/V (10 MB)
4.012010	BERYLLIUM 1200K P0 + P1 GAS KERNEL 1/V (SIGMA0=.01 B)
5.000000	BORON (NATURAL) 1/V ( 759.3 B). CONST SCAT ( 4.0 B)
5.010000	BORON - 10 1/V (3835.0 B). CONST SCAT ( 4.0 B)
6.003020	CARBON 300K P0 + P1 SUMMIT(TO 1EV) + GAS(739.32K). 1/V (3.88MB)
6.004020	CARBON 400K P0 + P1 SUMMIT(TO 1EV) + GAS(779.29K). 1/V (3.88 MB)
6.006020	CARBON 600K P0 + P1 SUMMIT(TO 1EV) + GAS(890.98K). 1/V (3.88MB)
6.009020	CARBON 900K P0 + P1 SUMMIT(TO 1EV) + GAS(1110.51K). 1/V(3.88MB)
6.012020	CARBON 1200K P0 + P1 SUMMIT(TO 1EV) + GAS(1363.14K). 1/V(3.88MB)
6.015000	CARBON 1500K P0 + P1 GAS KERNEL. 1/V ABSORPTION (SIGMA0=3.88MB)
6.018000	CARBON 1800K P0 + P1 GAS KERNEL. 1/V ABSORPTION (SIGMA0=3.88MB)
8.003010	OXYGEN 300K P0+P1 GAS KERNEL
8.005890	OXYGEN 589K P0+P1 GAS KERNEL ( 600F)

Table 5.4 (Continued)

DATA TAPE LABEL = NEW THERMAL SPORT TAPE JAN.15 1975  
 NUMBER OF NUCLIDES = 75

NUCLIDE I.D. NUMBER	NUCLIDE DESCRIPTION
8.012014	OXYGEN 1200K PU+P1 GAS KERNEL
11.00000	SODIUM 1/V ( .525 B), CONST SCAT ( 4.0 B)
12.00000	MAGNESIUM 1/V ( .069 B), CONST SCAT ( 3.6 B)
13.00000	ALUMINUM 1/V (.233 B), CONST SCAT(1.41B) GA 9884 12-64
14.00000	SILICON 1/V ( .16 B), CONST SCAT ( 1.7 B)
15.00000	PHOSPHORUS 1/V ( .2 B), CONST SCAT ( 5.0 B)
16.00000	SULFUR 1/V ( .52 B), CONST SCAT ( 1.1 B)
22.00000	TITANIUM 1/V ( 5.8 B), CONST SCAT ( 4.0 B)
24.00000	CHROMIUM 1/V ( 3.1 B), CONST SCAT ( 3.0 B)
25.00000	MANGANESE (NATURAL) 1/V ( 13.2 B), CONST SCAT ( 2.3 B)
26.00000	IRON (NATURAL) 1/V ( 2.62 B), CONST SCAT ( 11.0 B)
27.00000	COBALT (NATURAL) 1/V ( 38.0 B), CONST SCAT ( 7.0 B)
28.00000	NICKEL (NATURAL) 1/V ( 4.6 B), CONST SCAT ( 17.5 B)
29.00000	COPPER (NATURAL) 1/V ( 3.65 B), CONST SCAT ( 7.2 B)
40.00000	ZIRCONIUM (NATURAL) 1/V (.185 B), CONST SCAT (8.0 B)
41.09300	NIObIUM-93 (NATURAL)
42.00000	MOLYBDENUM (NATURAL) 1/V (2.7 B), CONST SCAT (7.0 B)
47.10900	SILVER-109 BASED ON BNL 325 RES PAR
48.00000	CADMIUM (NATURAL)
49.00000	INDIUM (NATURAL)
50.00000	TIN (NATURAL) 1/V ( .625 B), CONST SCAT ( 4.0 B)
54.13500 ( 1R)	XENON-135 BASED ON NORM. (2.72+06 B) DOP BROAD OF .084 EV RES
54.61800	SUS 304 FROM AGN TM-407
54.65800	SUS 321 FROM AGN TM-407
54.66400	SUS 347 FROM AGN TM-407

Table 5.4 (Continued)

DATA TAPE LABEL = NEW THERMAL SPOUT TAPE JAN. 15 1975  
 NUMBER OF NUCLIDES = 75

NUCLIDE I.D. NUMBER	NUCLIDE DESCRIPTION
55.26900	SUS 316 FROM AGN TR-407
58.46100	INCOPEL FROM AGN TR-407
58.62700	HASTELLOY-X FROM AGN TR-407
59.15200	INCOPEL-X FROM AGN TR-407
62.14900 (10K)	SAMARIUM-149 BASED ON GA-2112 RES. PAR. + BNL 325
64.00000	GADOLINIUM NATURAL OCTOBER 1965
72.00000	HAFNIUM (NATURAL) BASED ON BNL 325 A/D
73.00000	TANTALUM NATURAL APRIL 1966
74.00000	TUNGSTEN (NATURAL) GA-1885 12-64
90.25200	THORIUM-232
91.23300	PA233 DOY F. G. SIMPSON WASH 1048 SEARCH FOR NEW E LEVEL
91.33690	ZRY-6 FROM JAERI-M 4881
91.34960	ZRY-2 FROM JAERI-M 4881
92.23300	URANIUM - 233 (12-20-62)
92.23330	URANIUM 233 BEST FIT THROUGH DIFFERENTIAL MEASUREMENTS OCT 64
92.23500	URANIUM 235 NASA REPORT DEC 1964
92.23800	URANIUM 238 NASA REPORT JANUARY 1965
94.23900	PLUTONIUM-239 GA 6576
94.24000 ( 2K)	PLUTONIUM-240 GA 6576
94.24100	PLUTONIUM-241 GA 6576
94.24120	PLUTONIUM 241 ENDF/B DATA JANUARY 1967
94.24200 ( 2K)	PLUTONIUM-242 GA 6576
201.00000	HASTELLOY-X (MACROSCOPIC) BASED ON MGCR-RF-310(7/11/61)
202.00000	STAINLESS-STEEL (WEST) 1/V(3.198), CONST SCAT(10B), MUBAR=.0119
203.00000	STAINLESS STEEL TYPE 347 (MACRO) (ARCH)

Table 5.5A GGC-4 input for GAM section

WORD	1	2					Note:
COLUMN	1-12	13-24					
FORMAT	Integer	Integer					
CARD	Is a FAST problem (or series) to be run? 0 = No N = Yes (No. of 1st prob. added to results tape)	Will a previously written FAST results tape be used? 0 = No 1 = Yes					Value of N(word 1): If making new tape (i.e., word 2 = 0), then $N = 1$ . If adding to tape (i.e., word 2 = 1), N = number of 1st problem to be added to tape (one more than number of previous problem being saved.)
SYMBOL	MGAM	MUSE					

Omit cards 2 through 19 if no FAST problems being run and no FAST results tape being mounted (i.e., words 1 and 2, card 1 = 0).

WORD	1						
COLUMN	1-12						
FORMAT	Alphanumeric						
CARD	Label for FAST results tape. (If MUSE = 1, this must match label on tape mounted.)						
SYMBOL	ABEL(I), I=1,3						

Omit cards 3 through 19 if no FAST problems being run (i.e., word 1, card 1 = 0)

WORD	1	2				
COLUMN	1-12	13-24				
FORMAT	Decimal	Decimal				
CARD	Identification number of FAST data tape.	Print list of nuclides on FAST data tape? 0. = No 1. = Yes				
SYMBOL	FNBT	FPL				

WORD	1-6				
COLUMN	1-72				
FORMAT	Alphanumeric				
CARD	FAST Problem Description				
SYMBOL	AW(I), I=1, 18				

Table 5.5A (Continued)

WORD	1	2	3	4	5	6	Note:
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal		Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 5	Number of nuclides in this problem	Number of broad groups ( $\leq 99$ ) If the COMBINING section is used, the total number of broad groups is limited by 50.		Type of B calculation: 0. = None 1. = B-1 2. = B-2 3. = B-3 (must be zero if P-1 calculation is specified)	Perform P-1 calculation? 0. = No 1. = Yes (must be 0. if B calculation is specified)	Read in spectrum? 0. = No 1. = read fluxes only 2. = read fluxes and currents	If spectrum input (word 6 $\neq$ 0.), no B or P calculation will be performed and words 4 and 5 must be 0.
SYMBOL	FNUK	FNBG		BTY	PTY	RIS	

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 6	Spatial moments calculations desired: 0. = None 1. = up to 2nd moment 2. = up to 6th moment	Fission spectrum desired: 0. = Unit Source 1. = U233 2. = U235 3. = Pu239 4. = Pu-241 5. = Cf-252	Fine group in which unit source occurs (if word 2=0.)	Calculate and punch source terms for THERMAL problem? 0. = No 1. = Yes	Definition of microscopic transport cross section: 1.0 = Def. 1 2.0 = Def. 2  (3.3) * (3.4)  in report	Punch fluxes and currents? 0. = No 1. = Yes	
SYMBOL	TTYP	STYP	SGP	CSQ	DTUM(3)	DTUM(4)	

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 7	Lower energy boundary of 1st broad group	Lower energy boundary of 2nd broad group	Lower energy boundary of 3rd broad group	etc.	etc.	etc.	
SYMBOL	GEN(2) >	GEN(3) >	GEN(4) >	etc.	etc.	etc.	

If fluxes input (card 5, word 6 = 1.0), cards 8 and 9 are required.

Note: For fluxes and current input (card 5, word 6 = 2.0), skip cards 8 and 9. (Cards 15D and 15E are required).

WORD	1	2	3	4	5	6	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 8	Flux for fine group 1	Flux for fine group 2	Flux for fine group 3	etc.	etc.	etc.	Input flux value for each <u>fine</u> group.
SYMBOL	PHI(1)	PHI(2)	PHI(3)	etc.	etc.	etc.	



Table 5.5A (Continued)

Input card 9 if fluxes input (card 5, word 6 = 1.0 and card 8 is included)

WORD	1						
COLUMN	1-12						
FORMAT	Decimal						
CARD	Fission spectrum coefficient, $\alpha$						
9							
SYMBOL	SPECA						

WORD	1						
COLUMN	1-12						
FORMAT	Decimal						
CARD	$B^2$ Buckling term may be positive negative or zero						
10							
SYMBOL	WAVE						

Repeat cards 11 through 15C for each nuclide.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD	Nuclide identification number (on FAST data tape)	Atomic density of nuclide	Resonance calculation? 0. = No 1. = Yes 2. = Yes, and input collision probability tables	Does nuclide have self-shielding factors? 0. = No 1. = Yes	Group structure for self-shielding factors: 0. = broad groups 1. = fine groups	Apply self-shielding to microscopic, broad-group-averaged cross sections? 0. = No 1. = Yes	
11							
SYMBOL	TID	ADEN	REZ	SELS	A16	A17	

If self-shielding factors input (card 11, word 4 = 1.0), card 12 is required.

WORD	1	2	3	4	5	6	Note:
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD	Self-shielding factor for 1st (highest) energy group	Self-shielding factor for 2nd energy group	Self-shielding factor for 3rd energy group	etc.	etc.	etc.	Contains the self-shielding factors by broad or fine groups as dictated by word 5 of card 11.
12							
SYMBOL	AID(18)	AID(19)	AID(20)	etc.	etc.	etc.	

Table 5.5A (Continued)

Input cards 13 through 15C for resonance calculation (card 11, word 3 ≠ 0.)

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 13	Temperature (°K) of absorber	Geometry: 0. = homogeneous 1. = slab(1-D) 2. = cylinder (2-D) 3. = sphere (3-D)	Absorber lump dimension, a (1/2 thickness of slab, radius of cylinder or sphere)	Dancoff correction	$(\sigma_m)_{eff}$ for unresolved calculation $\sigma_m + \frac{1-C}{No\bar{l}} + \sigma_p$	Lumped nuclear density of absorber	$\bar{l}$ is a mean chord length $\bar{l} = 2a$ slab $\bar{l} = 2a$ cylinder $\bar{l} = \frac{4}{3}a$ sphere
SYMBOL	TEMP	GEOM	ABAR	C	SMS	DZERO	

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 14	Absorber method: 1. = Nordheim's integral 2. = Narrow resonance 3. = Infinite mass	Mass number of 1st moderator	Scattering per absorber $\sigma_{a1} \frac{N_1}{N_2} \sigma_{s1}^S$	Method for 1st moderator: 0. = not present 1. = Nordheim's integral 2. = Asymptotic approximation	Mass number of 2nd moderator	Scattering per absorber atom for 2nd moderator $\sigma_{a2} \frac{N_2}{N_1} \sigma_{s2}^S$	
SYMBOL	AIA	AMØD1	SIGM1	QMØD1	AMØD2	SIGM2	

WORD	1		
COLUMN	1-12		
FORMAT	Decimal		
CARD 15	Method for 2nd moderator: 0. = not present 1. = Nordheim's integral 2. = Asymptotic approx.		
SYMBOL	QMØD2		

If new collision probability tables input (card 11, word 3 = 2.0), cards 15A, 15B and 15C required.

WORD	1	2	3	4	Note:
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 15A	0. = Use tables for previous nuclide 1. = read new tables	Escape probability constant, $C_1$	Escape probability constant, $C_2$	Escape probability constant, $C_3$	Escape probability constants required, regardless of value of word 1 Use of constants: $P_0 = \frac{C_1}{2a} + \frac{C_2}{(2a)^2} + \frac{C_3}{(2a)^3}$ for $\bar{l}_a > 6.0$
SYMBOL	FINK	CS1	CS2	CS3	

Table 5.5A (Continued)

If new tables input (card 15A, word 1 = 1.0), cards 15B and 15C required.

WORD	1-6	
COLUMN	1-72	
FORMAT	Alphanumeric	
CARD 15B	Title for collision probability table to be input	
SYMBOL	RSN(I), I = 1, 18	

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 15C	Collision probability for $E\bar{a} = .02$	Collision probability for $E\bar{a} = .04$	Collision probability for $E\bar{a} = .06$	etc.	etc.	etc.	Collision probability table for $E\bar{a} = .02$ to $6.02$ in steps of $.02$ (301 values)
SYMBOL	CYLT(2)	CYLT(3)	CYLT(4)	etc.	etc.	etc.	

If fluxes and currents input (card 5, word 6 = 2.0), cards 15D and 15E are required

WORD	1	2	3	4	5	6	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 15D	Flux for <u>fine</u> group 1	Flux for <u>fine</u> group 2	Flux for <u>fine</u> group 3	etc.	etc.	etc.	Input one flux value for each <u>fine</u> group
SYMBOL	PHI(1)	PHI(2)	PHI(3)	etc.	etc.	etc.	

WORD	1	2	3	4	5	6	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 15E	Current for <u>fine</u> group 1	Current for <u>fine</u> group 2	Current for <u>fine</u> group 3	etc.	etc.	etc.	Input one current value for each <u>fine</u> group
SYMBOL	Y(1)	Y(2)	Y(3)	etc.	etc.	etc.	

Table 5.5A (Continued)

WORD	1		
COLUMN	1-12		
FORMAT	Decimal		
CARD 16	Problem repeat index: 0. = No more FAST problems (skip to card 20) 1. = New FAST problem (repeat from card 4) 2. = Re-averaging problem (cards 17-19 required)		
SYMBOL	REPET		

If re-averaging problem specified (word 1, card 16 = 2.0), input cards 17 - 19 followed by card 16.

WORD	1-6		
COLUMN	1-72		
FORMAT	Alphameric		
CARD 17	Re-averaging problem description		
SYMBOL	AW(I), I = 1, 18		

WORD	1		
COLUMN	1-12		
FORMAT	Decimal		
CARD 18	Number of broad groups ( $\leq 99$ )		If this COMBINING section is used, the total number of broad groups is limited by 50.
SYMBOL	FNBG		

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 19	Lower energy boundary of 1st broad group	Lower energy boundary of 2nd broad group	Lower energy boundary of 3rd broad group	Etc.	Etc.	Etc.	Note: Return to Card 16
SYMBOL	GEN(2) >	GEN(3) >	GEN(4) >	Etc.	Etc.	Etc.	

Table 5.5B GGC-4 input for GATHER section

WORD	1	2	3				Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36				
FORMAT	Integer	Integer	Integer				Value of N (word 1):
CARD 20	Is a THERMAL problem (or series) to be run? 0 = No 1 = Yes (No. of 1st prob. added to results tape.)	Will a previously written THERMAL results tape be used? 0 = No 1 = Yes	Print list of nuclides on THERMAL data tape? 0 = No 1 = Yes				If making new tape (i.e., word 2 = 0), then N = 1. If adding to tape (i.e., word 2 = 1), N = number of 1st problem to be added to tape (one more than number of previous problems being saved).
SYMBOL	MRUN	MUSE					

Omit cards 21 through 43 if no THERMAL problems being run and no THERMAL tape mounted (i.e., words 1 and 2, card 1 = 0).

WORD	1						
COLUMN	1-12						
FORMAT	Alphanumeric						
CARD 21	Label for THERMAL results tape. (If MUSE = 1, this must match label on tape mounted.)						
SYMBOL	ABEL(I), I = 1, 3						

Omit cards 22 through 43 if no THERMAL problems being run (i.e., word 1, card 1 = 0)

WORD	1-6						
COLUMN	1-72						
FORMAT	Alphanumeric						
CARD 22	THERMAL data tape label (must be identical to label on tape mounted.)						
SYMBOL	CLABEL(I), I = 1, 18						

WORD	1-6						
COLUMN	1-72						
FORMAT	Alphanumeric						
CARD 23	THERMAL PROBLEM DESCRIPTION						
SYMBOL	TITLE (I), I = 1, 18						

Table 5.5B ( Continued )

WORD	1	2				
COLUMN	1-12	13-24				
FORMAT	Decimal	Decimal				
CARD 24	Number of broad groups  ( ≤ 50)	Upper energy boundary for one group edit (if not upper boundary of 1st broad group) OGE must be an upper limit of a specified broad group.				
SYMBOL	ZNBG	OGE				

WORD	1	2	3	4	5	6
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
CARD 25	Upper energy boundary for 1st broad group	Upper energy boundary for 2nd broad group	Upper energy boundary for 3rd broad group	etc.	etc.	etc.
SYMBOL	BEG(1) >	BEG(2) >	BEG(3) >	etc.	etc.	etc.

WORD	1	
COLUMN	1-12	
FORMAT	Decimal	
CARD 26	$B^2$ Buckling term. May be positive, negative or zero	
SYMBOL	BSQ	

WORD	1	2	3	4	5
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
CARD 27	Problem type: -1.= fluxes and currents input 0.= Maxwellian flux used 1.= B1 approx. 2.= B0 approx. 3.= P1 approx. 4.= P0 approx. 5.= Time moments calculation	Definition of microscopic transport cross section  1.0 = Definition 1 2.0 = Definition 2	Temperature (ev or degrees K) for averaging over Maxwellian flux (word 1 = 0.)	Number of time moments to be calculated (word 1 = 5.0)	Punch flux and current?  0. = No 1. = Yes
SYMBOL	OPT1		DUM	TMS	PUNCH

Table 5.5B ( Continued )

For spectrum or time moments calculation (card 27, word 1 > 0.), cards 28 and 29 required.

WORD	1	2	3	4		Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48		
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal		
CARD 28	Flux and current guess: 0. Maxwellian $\phi, J = \frac{B \phi}{3E_{tr}}$ 1. $\phi = 1.0,$ $J = \frac{B}{3E_{tr}}$ 2. $\phi$ & J from results of previous flux calculations 3. Input guesses	P0 source terms: -N. from FAST (see note) 0. free atom slowing down model in 1/E flux 1. input from cards	P1 source terms: 0. = calculated by free atom slowing down model in 1/E flux 1. = input 2. = P1 source is zero	Temperature (ev or °K) for Maxwellian flux guess (word 1 = 0.)		-N. = sources used from Nth FAST problem (in this run) which calculated sources for THERMAL. * -N. = the same with the same problem
SYMBOL	OPTPHI	OPTQ0	OPTQ1	DUM		

WORD	1	2	3	4		
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48		
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal		
CARD 29	Maximum number of iterations (if blank, 300 will be used)	Acceleration parameter $\lambda$ (if blank, 1.2 will be used)	Convergence criterion for fluxes and currents (if blank, 10 <sup>-5</sup> will be used)	Microscopic transport option: 0. = use current for averaging 1. = use flux for averaging		
SYMBOL	COUNT	YAMBDA	ERRPHI	ERRJ		

WORD	1				
COLUMN	1-12				
FORMAT	Decimal				
CARD 30	Number of nuclides or materials				
SYMBOL	ZMAT				

Repeat cards 31 (and 32, if needed) for each nuclide or material

WORD	1	2	3	4	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 31	Nuclide I.D. number on THERMAL data tape	Atomic density of nuclide (atom/barn-cm)	Self-shielding factors? 0. = None 1. = broad group 2. = point wise	If S.S. factors given how is averaging done 0. = with self-shielding only 1. = without and with self-shielding	At least one kernel with non-zero atom density must be present. Otherwise problem will not run
SYMBOL	TLABL	DENS	SSF	AVG	

Table 5.5B ( Continued )

Card 32 required if self-shielding factors input (card 31, word 3 = 1.0 or 2.0)

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 32	Self-shielding factor for 1st (lowest) group or point	Self-shielding factor for 2nd energy group or point	Self-shielding factor for 3rd energy group or point	Etc.	Etc.	Etc.	
SYMBOL	SEL(1)	SEL(2)	SEL(3)	Etc.	Etc.	Etc.	

Fluxes and currents input (card 27, word 1 = -1.0, or card 28, word 1 = 3.0), cards 33 and 34 are required.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 33	Flux at 1st (lowest) energy point	Flux at 2nd energy point	Flux at 3rd energy point	Etc.	Etc.	Etc.	Input a flux value for each THERMAL energy point
SYMBOL	PHI(1)	PHI(2)	PHI(3)	Etc.	Etc.	Etc.	

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 34	Current at 1st (lowest) energy point	Current at 2nd energy point	Current at 3rd energy point	Etc.	Etc.	Etc.	Input a current value for each THERMAL energy point
SYMBOL	YJ(1)	YJ(2)	YJ(3)	Etc.	Etc.	Etc.	

IF P-0 source terms input (card 28, word 2 = 1.0), card 35 is required.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 35	Po source term for 1st energy point	Po source term for 2nd energy point	Po source term for 3rd energy point	Etc.	Etc.	Etc.	Input a Po source term for each THERMAL energy point
SYMBOL	QO(1)	QO(2)	QO(3)	Etc.	Etc.	Etc.	



Table S.5B ( Continued )

If P-1 source terms input (card 28, word 3=1.0), card 36 is required.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 36	P <sub>1</sub> source term for 1st energy point	P <sub>1</sub> source term for 2nd energy point	P <sub>1</sub> source term for 3rd energy point	Etc.	Etc.	Etc.	Input a P <sub>1</sub> source term for each THERMAL energy point
SYMBOL	Q1(1)	Q1(2)	Q1(3)	Etc.	Etc.	Etc.	

Card 37 must be last card of any series of THERMAL problems

WORD	1												
COLUMN	1-12												
FORMAT	Decimal												
CARD 37	Consecutive problem index: 0.= No more THERMAL problems 1.= New problem (from card 23) 2.= Reaverage over new broad groups 3.= Partially new problem		Next card required: <table border="1"> <tr> <th>RPT</th> <th>Card</th> </tr> <tr> <td>0.0</td> <td>44 or none</td> </tr> <tr> <td>1.0</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>2.0</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>41</td> </tr> </table>	RPT	Card	0.0	44 or none	1.0	23	2.0	38	3.0	41
RPT	Card												
0.0	44 or none												
1.0	23												
2.0	38												
3.0	41												
SYMBOL	RPT												

If cross sections to be reaveraged over new broad groups (card 37 = 2.0) input cards 38 through 40

WORD	1-6	
COLUMN	1-72	
FORMAT	Alphanumeric	
CARD 38	New THERMAL problem title	
SYMBOL	TITLE(I), I=1,18	

WORD	1	2	
COLUMN	1-12	13-24	
FORMAT	Decimal	Decimal	
CARD 39	Number of broad groups for reaveraging	Upper energy boundary for one-group edit	
SYMBOL	ZNBG	ZOGE	

Table 5.5B ( Continued )

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
CARD 40	Upper energy boundary for 1st broad group	Upper energy boundary for 2nd broad group	Upper energy boundary for 3rd broad group	Etc.	Etc.	Etc.	
SYMBOL	BEG(1) >	BEG(2) >	BEG(3) >	Etc.	Etc.	Etc.	

For a partially new problem (card 37 = 3.0), input cards 41 and 42

WORD	1-6	
COLUMN	1-72	
FORMAT	Alphanumeric	
CARD 41	New THERMAL Problem Title	
SYMBOL	TITLE(I), I = 1, 18	

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Note
CARD 42	Change number of broad groups upper energy for one-group edit and/or broad group boundaries? 0. = No 1. = Yes	Change value of buckling? 0. = No 1. = Yes	Change any of problem options on card 27? 0. = No 1. = Yes	Change flux guess or source term options on card 28? 0. = No 1. = Yes	Change maximum iterations allowed, accelerate parameter, or convergence values on card 29? 0. = No 1. = Yes	Change microscopic data? -1. = all new micro.data 0. = no change N. = Number of nuclides with new densities	Word No. Cards Needed 1 = 1.0 39-40 2 = 1.0 26 3 = 1.0 27 4 = 1.0 28 5 = 1.0 29 6 > 0.0 43 For cards 27-29 blanks will be interpreted as meaning to retain data from preceding problem.
SYMBOL	CHANGE (1)	CHANGE(2)	CHANGE(3)	CHANGE (4)	CHANGE(5)	CHANGE(6)	

WORD	1	2	
COLUMN	1-12	13-24	
FORMAT	Decimal	Decimal	
CARD 43	Nuclide (or material) I.D. number	New atomic density	
SYMBOL	TID	DENS	

Table 5.5C GGC-4 input for COMBO section  
Problem Identification Card

If on card 46, word 1=1 and word 4=1, then Standard Diffusion Options for problem macroscopic punching are specified on the following card 44.

WORD	1	2	3	4		
COLUMN	1-3	4-60	61-64	65-68	69-72	
FORMAT	A3	I4A4, A1	I4	I4		
CARD 44	Problem ID to label macroscopic punching	Combining section title. Also used as header card identification for macroscopic punching. For transport punching only columns 4-33 are used	Standard diffusion punching options for macroscopic punching $\sigma(n,a) + \sigma(n,p) + \sigma(n,2n)$ = 0, not punched = 1, punch	Transfer matrix = 0, omitted = 1, fast only = 2, full matrix		
SYMBOL	TACK	TITHE(15)	MIFNAN	MIFTFE		

WORD	1	2	3	4		
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48		
FORMAT	I12	I12	I12	I12		
CARD 45	Problem number from FAST results tape	Should this problem data be saved? 0 = no 1 = yes	Problem number from THERMAL results tape	Should this problem data be saved? 0 = no 1 = yes		If N THERM is made negative on card 45, then the upscattering broad group cross sections from the highest thermal broad group into the lower fast broad group are set equal to zero
SYMBOL	NFAST	NSAVA	N THERM	NSAVB		

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	I12	I12	I12	I12	I12	I12	
CARD 46	Problem macroscopic punching option =0, none =1, punch	Microscopic** punching =0, none =N(>0), number nuclides to be punched =-N punch all nuclides with I.D. matching to within N pages after	Mixture index =0, no mixtures =N,N mixtures will be calculated and macroscopic cross sections punched	Standard diffusion form =0, no diffusion code punching =1, standard diffusion code punching	Standard transport format =0, no punching =1, P <sub>0</sub> punching =2, P <sub>0</sub> , P <sub>1</sub> punching =3, P <sub>0</sub> , P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> punching =4, P <sub>0</sub> , P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> punching	Special P <sub>0</sub> punch option =0, no effort =1, new option	If NEL < 0 and diffusion punching is requested, then one set of diffusion punching options is supplied on one card 52
SYMBOL	MPI	NEL	MIX	NDIFFP	NTRANP	NTRXX	

\*\* For microscopic punching, no matching of ID number is necessary if only FAST or THERMAL cross sections are to be punched (NEL=-N) and all nuclides on results tape for the specified problem will be punched.

If standard transport format for cross section punching has been selected (word 5, card 46 > 0), card 47 is needed.

WORD	1	2		
COLUMN	1-12	13-24		
FORMAT	I12	I12		
CARD 47	Number of up-scattering terms to be punched *	Number of downscattering terms to be punched		* NUP = 1, downscattering NDOWN = 1, upscattering
SYMBOL	NUP	NDOWN		

Table 5.5C ( Continued )

If any mixtures are being punched (word 3, card 46>0), for each mixture supply cards 48, 49 and a card 50 for each nuclide contributing to this mixture. If only problem macroscopic punching is requested (words 2,3, card 46=0), data complete for this problem.

WORD	1	2		
COLUMN	1-12	22-24		
FORMAT	I12	A3		
CARD 48	Number of elements in the mixture	Label for punched cross section cards		
SYMBOL	NUMNUC	TAG		

If only standard transport punching requested, words 3 and 4, card 49 is not used.

WORD	1	2	3	4	
COLUMN	1-6	7-60	61-64	65-68	
FORMAT	A4,A2	13A4,A2	I4	I4	
CARD 49	Identification for mixture	Mixture description Only columns 7-30 are used for transport punching	0 = $\sigma(n,\alpha)$ , $\sigma(n,p)$ , and $\sigma(n,2n)$ are not available 1 = $\sigma(n,\alpha)$ , $\sigma(n,p)$ , and $\sigma(n,2n)$ are available	0 = no fast and no full transfer matrix available 1 = only fast transfer matrix available 2 = only full transfer matrix available	
SYMBOL	CID(2)	CNAME(I),I=1,14	IFNANP	IFIFER	

Card 50 must be given for each nuclide in the mixture

WORD	1	2	3		
COLUMN	1-12	13-24	26-36		
FORMAT	F12.6	F12.6	F12.6		Note
CARD 50	Fast nuclide I.D. number, or zero if none wanted	Thermal nuclide I.D. number, or zero if none wanted	Atomic density of selected fast and thermal nuclide in mixture		TIDB is stored in double precision
SYMBOL	TIDA	TIDB	ADEN		

If more mixtures are wanted, repeat from card 48.

For each of the N nuclides specified (word 2, card 46), cards 51 and possibly 52 must be supplied.

WORD	1	2	3		
COLUMN	1-12	13-24	34-36		
FORMAT	F12.6	F12.6	A3		
CARD 51	Fast I.D. for nuclide	Thermal I.D. for nuclide	Label for punched cards		
SYMBOL	TIDA	TIDB	TAG		

Table 5.5C ( Continued )

If standard diffusion punching requested, the following card is required, (needed as header card content).

WORD	1	2	3	4	5	
COLUMN	1-6	7-60	61-64	65-68	69-72	
FORMAT	A4,A2	13A4,A2	I4	I4		
CARD 52	Identification for nuclide	Nuclide description	0 = $\sigma(n,\alpha)$ , $\sigma(n,p)$ and $\sigma(n,2n)$ not available 1 = $\sigma(n,\alpha)$ , $\sigma(n,p)$ and $\sigma(n,2n)$ are available	0 = no fast and no full transfer matrix avail- able 1 = only fast transfer matrix available 2 = only full transfer matrix available		
SYMBOL	CID(2)	CNAME(I)I=1,14	IFNAMP	IFTFER		

If diffusion punching requested for all nuclides on FAST or THERMAL results tape only (or for matching nuclide I.D. numbers) (word 2, card 46 < 0), specify card 52 once, using only words 3 and 4.

Table 5.6A Input cards and setup for the executions of GAM,GATHER, and COMBO for a slowing-down problem in light water

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

%NO
                                C.2/COKE 128
                                T.2/TIME 5
                                W.1/PAGE 80
                                P.2/PCB 200

*GJOB
*LIEDKP JO051.GGC4GGC4.SIMPL=OVLY
SGMT MAIN
SELECT (FTMAIN,ATANH,NAME1,NAME2,NAME3,NAME4,NAME5,NAME6,TICKER)
SGMT GFAST+CHN=MAIN
SELECT (BONE,BSR,BTHREE,BT*0,CROSS,UOUB,D3D,DAD,FACE,FASTLK,FMACRO, /
MICRO,FSR,GAMINC,GAMNIT,GINT,GRID,HEAD3,INTERP,LANE,LINK1, /
LINK2,LINK3,LINK4,LINK5,LINK6,LINK7,NCX,NEWCYL,NEWSLB,NHLT, /
JNED,PIC,POD,PRINT3,RESUL,RE*RTB,SAMPS,SAVE,SEMP5,SIMPS,SOMPS/
,SWMT,STALL,TRAP2,TRPF,TWOD,UNRES,WEF,*OD,*TB)
SGMT GTERM+CHN=MAIN
SELECT (THKAL+CHANGE,FVD*)
SGMT THERMG+CHN=GTERM
SELECT (AVRGA,AVRGG,BBEN,CHKOP,ERR04,ERR08,ERR09,EKR13,GAMM,HEAD, /
HEAD4,HEAD8,HEADSP,HEADTH,HEAD10,LINK10,LINK11,LINK12,LINK13, /
LINK22,LINK77,LINK8,LINK9,LINK93,LINK95,LINK101,LINK102,LINK131, /
MACRO,MACRO1,MICRO,MICR95,MINP,NEWP,JNEGHP,OUTTR,OUT10,OUT102, /
PRORTM,PBIR,PHIGES,PHIMAX,PRINTA,PRINTB,PRINTC,PRINTD,READ, /
SELFS,SETTM,SETUP,SOURCE,SPACE,SP2,SS95,SUMGGC,THERMN,INUM, /
TRAP,TRPT,WRITEA,WRITEB,WRITE1,ZER013,ZER09,BCCCON,PBOK)
SGMT GCOMB+CHN=GTERM
SELECT (COMB+COLUMN,DIFPUN+EKR15,HEAD15,IPRINT,LCNTRL,MAIN16,MA01D, /
MXTUR,NUL1ST,PLUCA,PLUCB,READA,READAA,READB,READBB,HPT, /
SETUP1,SKIPA,SKIPB,SN,STORE,TRAPUN,ZERO)

FIN
*RUN
*TAPE F01,JO051.GGC4WTFG.OLD,001520
*DISK F02 $TAPE F02,--- to store Results data from GATHER
*DISK F03 $TAPE F03,--- to store Results data from GAM
*TAPE F04,JO051.GGC4MAKE.OLD,000654
*DISK F08 GGC4
*DISK F22 GGC4
*DISK F23 GGC4
*DISK F24 $TAPE F24,--- to store P0 and P1 slowing-down sources from GAM
*DISK F30 GGC4
*PUNCH
*DATA
GAM REGION 1 0
1973, 1, 4
FAST PROBLEM DESCRIPTION WATER YAMASHITA 5
2, 3, 1. 0. 0. 1. 7
1, 2, 1. 1.0 1. 1. 10
6.08E+05 9.12E+03 2.38
6.178E-04
1,0000 0.0688 0. 0. 0. 0. 16
8,0000 0.0344 0. 0. 0. 0. 20
0, 16
1 0 1 21
THERMAL
NEW THERMAL SHORT TAPE NOV.21 1973
THERMAL PROBLEM DESCRIPTION WATER REFLECTOR
1.0 2.38 24
2.38 25
6.178E-04 10
1, 1, 1. 1.
1, -1, -1, 0.
2,
1,0030210 0.0688 31
8,003010 0.0344 37
0, 0 2
H2O INPUT COMBINING SECTION 45
1 1 1 1
1 0 0 1 2 0
1 3
%JEND

```



Table 5.6B ( Continued )

.....1.....	*.....2.....	*.....3.....	*.....4.....	*.....5.....	*.....6.....	*.....7.....	*.....8
1.64803E-03	1.80533E-03	1.87904E-03	1.94998E-03	2.01842E-03	2.08461E-03		
2.14877E-03	2.21107E-03	2.27165E-03	2.33067E-03	2.55312E-03	2.75768E-03		
2.94809E-03	3.12692E-03	3.29606E-03	3.45694E-03	3.53463E-03	3.61066E-03		
3.68511E-03	3.75809E-03	3.82968E-03	3.89995E-03	3.96899E-03	4.03684E-03		
4.10357E-03	4.16923E-03	4.23387E-03	4.29754E-03	4.36028E-03	4.42213E-03		
4.54331E-03	4.74221E-03	4.77645E-03	4.83298E-03	4.94409E-03	4.99873E-03		
5.05277E-03	5.07957E-03	5.10624E-03	5.15915E-03	5.21153E-03	5.37572E-03		
5.46590E-03	5.58875E-03	5.66117E-03	5.70895E-03	5.82667E-03	5.94206E-03		
6.09103E-03	6.16637E-03	6.38280E-03	6.59213E-03	6.79501E-03	6.89813E-03		
6.95305E-03	7.03074E-03	7.10758E-03	7.18360E-03	7.25883E-03	7.29619E-03		
7.33328E-03	7.37022E-03	7.46178E-03	7.55223E-03	7.58811E-03	7.62382E-03		
7.65936E-03	7.69474E-03	7.76501E-03	7.81730E-03	7.83463E-03	7.90368E-03		
8.07367E-03	8.24016E-03	8.40334E-03	8.56342E-03	8.84428E-03	9.02664E-03		
9.32267E-03	9.60959E-03	9.83310E-03	1.00329E-02	1.00134E-02	1.00810E-02		
1.02898E-02	1.06141E-02	1.09878E-02	1.11752E-02	1.14261E-02			
REGULAR FLUX AND CURRENT							
THERMAL PROBLEM DESCRIPTION WATER REFLECTOR							
6.63788E 01	1.27870E 02	2.37216E 02	2.85541E 02	3.70660E 02	4.07877E 02		
4.72651E 02	5.86646E 02	6.47079E 02	6.69452E 02	6.64117E 02	6.06314E 02		
5.18736E 02	4.25764E 02	3.81289E 02	3.39484E 02	3.00852E 02	2.65576E 02		
2.33660E 02	2.02016E 02	1.79459E 02	1.56727E 02	9.02125E 01	5.12206E 01		
2.94264E 01	1.72088E 01	1.09147E 01	7.35899E 00	6.21488E 00	5.34825E 00		
4.70298E 00	4.17478E 00	3.77909E 00	3.46826E 00	3.23727E 00	3.05754E 00		
2.89904E 00	2.74695E 00	2.58012E 00	2.47267E 00	2.37640E 00	2.28910E 00		
2.14012E 00	1.98201E 00	1.94671E 00	1.88999E 00	1.80031E 00	1.75743E 00		
1.71487E 00	1.69356E 00	1.67236E 00	1.63104E 00	1.59288E 00	1.51051E 00		
1.45315E 00	1.38843E 00	1.34709E 00	1.31960E 00	1.26213E 00	1.20607E 00		
1.14252E 00	1.09844E 00	1.03059E 00	9.59099E-01	9.06227E-01	8.88465E-01		
8.49665E-01	8.27231E-01	8.07179E-01	7.88430E-01	7.70230E-01	7.60882E-01		
7.51263E-01	7.42259E-01	7.23823E-01	7.06464E-01	6.98652E-01	6.90855E-01		
6.83306E-01	6.76100E-01	6.62561E-01	6.51165E-01	6.47059E-01	6.31796E-01		
6.10105E-01	5.83613E-01	5.59958E-01	5.26145E-01	5.11126E-01	4.70077E-01		
4.48762E-01	4.24794E-01	3.98464E-01	3.84227E-01	3.61827E-01	3.49650E-01		
3.29737E-01	3.11566E-01	2.98454E-01	2.86118E-01	2.78048E-01			
5.77492E-02	1.42790E-01	3.30591E-01	4.24482E-01	6.09032E-01	6.97839E-01		
8.71085E-01	1.25913E 00	1.56663E 00	1.82206E 00	1.99895E 00	2.22929E 00		
2.16954E 00	1.88863E 00	1.70764E 00	1.53113E 00	1.36682E 00	1.21859E 00		
1.08706E 00	9.71301E-01	8.69155E-01	7.79554E-01	4.96306E-01	2.95637E-01		
1.80597E-01	1.16413E-01	7.80674E-02	5.70306E-02	5.00287E-02	4.47015E-02		
4.08031E-02	3.73093E-02	3.47649E-02	3.27369E-02	3.13472E-02	3.03364E-02		
2.93775E-02	2.83240E-02	2.69183E-02	2.61419E-02	2.54265E-02	2.47402E-02		
2.36155E-02	2.27168E-02	2.23931E-02	2.18668E-02	2.11271E-02	2.07544E-02		
2.03663E-02	2.01644E-02	1.99595E-02	1.95549E-02	1.91873E-02	1.85819E-02		
1.79944E-02	1.73821E-02	1.69420E-02	1.66396E-02	1.60453E-02	1.54298E-02		
1.47412E-02	1.41619E-02	1.34843E-02	1.26495E-02	1.20862E-02	1.15817E-02		
1.13332E-02	1.10528E-02	1.08086E-02	1.05811E-02	1.03570E-02	1.02344E-02		
1.01129E-02	9.99785E-03	9.77990E-03	9.57431E-03	9.47396E-03	9.37292E-03		
9.27549E-03	9.18347E-03	9.01260E-03	8.85880E-03	8.80139E-03	8.59161E-03		
8.35988E-03	8.02106E-03	7.72049E-03	7.21414E-03	7.14087E-03	6.48668E-03		
6.26978E-03	5.98733E-03	5.61910E-03	5.48049E-03	5.08580E-03	4.97326E-03		
4.73199E-03	4.52253E-03	4.38773E-03	4.19332E-03	4.09344E-03			
INPUT COMBINING SECTION							
0.0	0.0	4.46374E-04	1.72243E-01	0.0	0 2 0M20 01 0		( COMBO region )
0.0	0.0	2.48367E-06	3.32107E-01	0.0	1.05381E-01M20 1X 1		
0.0	0.0	5.45683E-04	5.58546E-01	0.0	1.88058E-01M20 2X 1		
					1.69169E-01M20 3X 1		

P1 slowing-down source

( GATHER region )

flux

current

( COMBO region )



Table 5.6B ( Continued )

```

.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8

0.0      0.0      1.91764E-02 2.04660E 00 0.0      H20 4X 1 cross section input format for diffusion codes
1.95179E-01 1.02381E-01 1.54402E-03 4.03489E-07      H20 1F 1
0.0      7.49032E-01 1.88058E-01 4.82983E-05      H20 2F 1
0.0      0.0      1.34242E 00 1.69169E-01      H20 3F 1
0.0      0.0      4.04011E-06 3.12152E 00      H20 4F 1
INPUT COMBINING SECTION      P=0      IHT= 5 IHS= 7 IHM=10 0H200 0
0.0      1.74243E-01 4.46374E-04 0.0      3.02551E-01 0.0      1H200 1
1.95179E-01 0.0      0.0      0.0      1H200 2
0.0      3.32107E-01 2.48367E-06 0.0      9.37142E-01 0.0      2H200 1
7.49032E-01 1.02381E-01 0.0      0.0      2H200 2
0.0      5.58546E-01 5.45683E-04 0.0      1.51213E 00 4.04011E-06 3H200 1
1.34242E 00 1.88058E-01 1.54402E-03 0.0      3H200 2
0.0      2.04660E 00 1.91764E-02 0.0      3.14070E 00 0.0      4H200 1
3.12152E 00 1.69169E-01 4.85983E-05 4.03489E-07      4H200 2
INPUT COMBINING SECTION      P=1      IHT= 5 IHS= 7 IHM=10 0H201 0 cross section input format for transport codes
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1H201 1
1.03886E-01 0.0      0.0      0.0      1H201 2
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      2H201 1
4.41536E-01 4.00530E-02 0.0      0.0      2H201 2
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.40079E-05 3H201 1
8.57728E-01 6.25537E-02 7.45122E-05 0.0      3H201 2
0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      4H201 1
7.16552E-01 6.98683E-02 2.66011E-07 3.14616E-10      4H201 2
    
```

Table 5.7A Input cards and setup for the executions of GAM, GATHER, and COMBO for a core calculation

```

.....1.....*.....2.....*.....3.....*.....4.....*.....5.....*.....6.....*.....7.....*.....8

%NO
C.2/CORE 128
T.2/TIME 3
W.1/PAGE 80
P.2/PCB 200

#GJOB
%LIEDKP J0051.GGC4GGC4.SIMPL=OVLY
SGMT MAIN
SELECT (FTMAIN,ATAN,NAME1,NAME2,NAME3,NAME4,NAME5,NAME6,TICKER)
SGMT GFAST,CHN=MAIN
SELECT (BONE,BSR,BTHREE,BTWO,CROSS,DOUB,D3D,D4D,FACE,FASTLK,FMACRO, /
FMICRO,FSR,GAMINC,GAMNIT,GINT,GRID,HEAD3,INTERP,LANE,LINK1, /
LINK2,LINK3,LINK4,LINK5,LINK6,LINK7,NCHK,NEWCYL,NEWSLB,NHLT, /
ONED,PIC,POD,PRINT3,RESOL,REW,RTB,SAMPS,SAVE,SEMPS,SIMPS,SOMPS /
,SGMT,STALL,TRAP2,TRPF,TWOD,UNRES,WEF,WOD,WTB)
SGMT GTHERM,CHN=MAIN
SELECT (THERMAL,CHANGE,FVDW)
SGMT THERMG,CHN=GTHERM
SELECT (AVRGA,AVRQB,BBEN,CHKOP,ERRORA,ERROR8,ERROR9,ERR13,GAMM,HEAD, /
HEADA,HEADB,HEADSP,HEADTM,HEAD10,LINK10,LINK11,LINK12,LINK13, /
LINK22,LINK77,LINK8,LINK9,LINK93,LINK95,LNK101,LNK102,LNK131, /
MACRO,MACRO1,MICRO,MICR9,MINP,NEWP,ONEGHP,OUTTM,OUT10,OUT102, /
PBDRTM,PBIR,PHIGES,PHIMAX,PRINTA,PRINTB,PRINT8,PHNT13,READ, /
SELS,SETTM,SETUP,SOURCE,SPACE,SP2,SS95,SUMGGC,THEMN,TNUM, /
TRAP,TRPT,WRITEA,WRITEB,WRITE1,ZERO13,ZERO9,BCDCON,PBOR)
SGMT GCOMBO,CHN=GTHERM
SELECT (COMBO,COLUMN,DIFPUN,ERR15,HEAD15,IPRINT,LCNTRL,MAIN16,MA015, /
MIXTUR,NOLIST,PLOCA,PLOCB,READA,READAA,READB,READBB,RPT, /
SETUP1,SKIPPA,SKIPPB,SN,STORE,TRAPUN,ZERO)

FIN
#RUN
#TAPE F01,J0051,GGC4WTFG,OLD,001520
#DISK F02 $TAPE F02,--- to store Results data from GATHER
#DISK F03 $TAPE F03,--- to store Results data from GAM
#TAPE F04,J0051,GGC4MAKE,OLD,000654
#DISK F08 GGC4
#DISK F22 GGC4
#DISK F23 GGC4
#DISK F24 $TAPE F24,--- to store P0 and P1 slowing-down sources from GAM
#DISK F30 GGC4
#PUNCH
#DATA

GAM REGION 1 0
1973. 1.0 3
CORE FAST PROBLEM DESCRIPTION JP 2 2.6E.U. 4
8. 3. 5
1. 2. 6
6.08E+05 9.12E+03 2.38 1. 0. 0. 7
6.1788E-04 1.0 10
1.0000 2.4137E-02 0. 0. 0. 0. 11
8.0000 2.6954E-02 0. 0. 0. 0. 11
24.0000 0.6435E-05 0. 0. 0. 0. 11
26.0000 0.1725E-02 0. 0. 0. 0. 11
28.0000 0.3251E-05 0. 0. 0. 0. 11

```

Table 5.7A ( Continued )

	1	2	3	4	5	6	7	8
40.0000	0.3541E-02		0.	0.	0.	0.		11
92.2350	1.9588E-04		0.	0.	0.	0.		11
92.2381	0.7246E-02		1.	0.	0.	0.		11
296.	2.	16.	0.625	0.13118	49.6631	2.2592E-02		14
	1.		8.6272		2.	235.	0.2703	14
	2.							15
	0.							16
	1	0	1					20
THERMAL								21
NEW THERMAL SHURT TAPE NOV.21 1973								23
THERMAL PROBLEM DESCRIPTION CORE JP 2 2.6 E.U.								24
1.0	2.38							25
2.38								10
6.1788E-04								27
1.	1.0				1.			28
1.	-1.		-1.					29
				0.				30
8.								31
1.0030210	2.4137E-02							31
8.0030100	2.6954E-02							31
24.0000000	0.6434E-05							31
28.0000000	0.1725E-02							31
28.0000000	0.3251E-05							31
40.0000000	0.3541E-02							31
92.2350000	1.9588E-04							31
92.2380000	0.7246E-02							31
0.								37
COR CORE INPUT					0	2		44
1	1		1		1			45
1					1	2	1	46
1	3							47
YJEND								

Table 5.8A Input cards and setup for the GAM-execution,GATHER-Results tape and COMBO-execution for a core calculation

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

%NO
                                C,2/CORE 128
                                T,2/TIME 5
                                W,1/PAGE 80
                                P,2/PCH 200

%GJOB
%LIEDKP J0051,GGC4GGC4+SIMPL=OVLY
SGMT MAIN
SELECT (FTMAIN,ATANH,NAME1,NAME2,NAME3,NAME4,NAME5,NAME6,TICKER)
SGMT GFAST,CHN=MAIN
SELECT (BONE,BSM,BTHREE,BTWO,CROSS,DOUB,D3D,D4D,FACE,FASTLK,FMACRO, /
        FMICRO,FSR,GAMINC,GAMNIT,GINT,GRID,HEAD3,INTERP,LANE,LINK1, /
        LINK2,LINK3,LINK4,LINK5,LINK6,LINK7,NCHK,NEWCYL,NEWSLB,NMLT, /
        ONED,PIC,POD,PRINT3,RESOL,REW,RTB,SAMPS,SAVE,SEMP,SIMPS,SOMPS /
        ,SOMT,STALL,TRAP2,TRPF,TWOD,UNRES,WEF,WOD,WTB)
SGMT GTERM,CHN=MAIN
SELECT (THERMAL,CHANGE,FVDW)
SGMT THERMG,CHN=GTERM
SELECT (AVRGA,AVRGA,BBEN,CHKOP,ERRORA,ERRORB,ERROR9,ERR13,GAMM,HEAD, /
        HEADA,HEADB,HEADSP,HEADTM,HEAD10,LINK10,LINK11,LINK12,LINK13, /
        LINK22,LINK77,LINK8,LINK9,LINK99,LINK99,LNK101,LNK102,LNK131, /
        MACRO,MACRO1,MICRO,MICR95,MINP,NEWP,ONEGRP,OUTTM,OUT10,OUT102, /
        PBURTM,PB1R,PHIGES,PHIMAX,PRINTA,PRINTB,PRINTB,PRNT13,READ, /
        SELFS,SETTM,SETUP,SOURCE,SPACE,SP2,SS95,SUMGGC,THERMN,TNUM, /
        TRAP,TRPT,WR1TEA,WR1TEB,WR1TE1,ZERO13,ZERO9,BCDCON,PBOR)
SGMT GCOMBO,CHN=GTERM
SELECT (COMBO,COLUMN,DIFPUN,ERR15,HEAD15,IPRINT,LCNTRL,MAJN16,MAO15, /
        MIXTUR,NOLIST,PLOCA,PLOCB,READA,READAA,READB,READBB,RPT, /
        SETUP1,SK1PA,SK1PB,SN,STORE,TRAPUN,ZERO)

FIN
%RUN
%TAPE F01,J0051,GGC4WTFG,OLD,001520
%DISK F02
%DISK F03
%TAPE F04,J0051,GGC4MAKE,OLD,000654
%DISK F08
%DISK F22
%DISK F23
%DISK F24
%DISK F30
%PUNCH
%DATA
GAM REGION
1973. 1.0 3
CORE FAST PROBLEM DESCRIPTION JP 2 2.6E.U. 4
      8. 3. 5
      1. 2. 6
      6.08E+05 9.12E+03 2.38 7
      6.1788E-04 10
      1.0000 2.4137E-02 0. 0. 0. 0. 11
      8.0000 2.6954E-02 0. 0. 0. 0. 11
      24.0000 0.8435E-05 0. 0. 0. 0. 11
      26.0000 0.1729E-02 0. 0. 0. 0. 11
      28.0000 0.3251E-05 0. 0. 0. 0. 11
      40.0000 0.3541E-02 0. 0. 0. 0. 11
      92.2350 1.9588E-04 0. 0. 0. 0. 11
      92.2381 0.7246E-02 1. 0. 0. 0. 11
      296. 2. 0.625 0.13118 0.49.6631 2.2592E-02
      1. 16. 8.6272 2. 235. 0.2703
      0. 14
      0. 15
      0. 16
      0. 20
COR CORE INPUT 0 2 44
      1 1 1 1 0 2 45
      1 1 1 2 1 46
      1 3 47
%JEND

```

Table 5.9A Input cards and setup for the GAM-Results tape,GATHER- and COMBO-executions for a core calculation

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8

%NO
C.2/CORE 128
T.2/TIME 5
W.1/PAGE 80
P.2/PCH 200

*GJOB
#LIEDKP J0051,GGC4GGC4,SIMPL=OVLY
SGMT MAIN
SELECT (FTMAIN,ATANH,NAME1,NAME2,NAME3,NAME4,NAME5,NAME6,TICKER)
SGMT (FAST,CHN=MAIN
SELECT (BONE,BSR,BTHREE,BTWO,CROSS,DOUB,D3D,D4D,FACE,FASTLK,FMACRO, /
FMICRO,FSR,GAMINC,GAMNIT,GINT,GRID,HEAD3,INTERP,LANE,LINK1, /
LINK2,LINK3,LINK4,LINK5,LINK6,LINK7,NCHK,NEWCYL,NEWSLB,NHLT, /
ONED,PIC,POD,PRINT3,RESOL,REW,RTB,SAMPS,SAVE,SEMP,SIMPS,SOMPS /
,SGMT,STALL,TRAPZ,TRPF,TWOD,UNRES,WEF,WOD,WTB)
SGMT (THERM,CHN=MAIN
SELECT (THERM,CHANGE,FVDW)
SGMT (THERMG,CHN=THERM
SELECT (AVRGA,AVRGB,BBEN,CHKOP,ERROR,ERROR,ERROR9,ERM13,GAMM,HEAD, /
HEAD,HEADB,HEADSP,HEADTM,HEAD10,LINK10,LINK11,LINK12,LINK13, /
LINK22,LINK77,LINK8,LINK9,LINK93,LINK95,LNK101,LNK102,LNK131, /
MACRO,MACRO1,MICRO,MICR95,MINP,NEWP,ONEGRP,OUTTM,OUT10,OUT102, /
PBORTM,PB1R,PHIGES,PHIMAX,PRINTA,PRINTB,PRINT8,PRN13,HEAD, /
SELS,SETTM,SETUP,SOURCE,SPACE,SP2,SS95,SUMGGC,THERMN,TNUM, /
TRAP,TRPT,WRITEA,WRITEB,WRITTE1,ZERO13,ZERO9,BCOCON,PBOR)
SGMT (COMBO,CHN=THERM
SELECT (COMBO,COLUMN,DIFFUN,ERR15,HEAD15,IPRINT,LCNTRL,MAIN16,MA015, /
MIXTUR,NOLIST,PLOCA,PLOCB,READA,READAA,READB,READBB,RPT, /
SETUP1,SKIPA,SKIPB,SN,STORE,TRAPUN,ZERO)

FIN
#RUN
#TAPE F01,J0051,GGC4WTFG,OLD,001520
#DISK F02 $TAPE F02,--- to store Results data from GATHER
#DISK F03 $TAPE F03,--- GAM-Results tape from previous calculations
#TAPE F04,J0051,GGC4MAKE,OLD,000654
#DISK F08 GGC4
#DISK F22 GGC4
#DISK F23 GGC4
#DISK F24 $TAPE F24, --- P0 and P1 slowing-down sources from previous calculations
#DISK F30 GGC4
#PUNCH
#DATA
0 0 20
1 0 21
THERMAL 3
NEW THERMAL SHORT TAPE NOV,21 1973 23
THERMAL PROBLEM DESCRIPTION CORE JP 2 2.6 E,U. 24
1,0 2,38 25
2,38 10
6,1788E-04 27
1, 1,0 1, 28
1, -1, -1, 0, 29
8, 30
1,0030210 2,8137E-02 31
8,0030100 2,8954E-02 31
24,0000000 0,8434E-05 31
26,0000000 0,1725E-02 31
28,0000000 0,3251E-05 31
40,0000000 0,3541E-02 31
92,2350000 1,9588E-04 31
92,2380000 0,1246E-02 31
0, 37
COR CORE INPUT 0 2 44
1 1 1 1 45
1 1 2 1 46
1 3 47
%JEND

```

Table 5.10 Computation time(sec.) required for the GGC-4 examples

Examples	Table 5.6	Table 5.7	Table 5.8	Table 5.9
	Slowing down in water	JP-2 (2.6% enriched) calculation		
		GAM & GATHER	GAM only	GATHER only
GAM	23.3	Resonance: 51.0 Total: 118.0	Resonance: 51.0 Total: 119.0	Results tape
GATHER	69.0	68.0	Results tape	69.1 (with 1/E-spectrum)
COMBO	1.0	2.0	1.0	2.0
Total C.P.U. time	152	239	172	123
Output pages	60	79	44	42

Buckling =  $6.179 \times 10^{-4}$ , Flux convergence criterion =  $1.0 \times 10^{-5}$

Collapsed energy-groups for GAM and GATHER sections are 3 and 1 respectively.

Table 5.11 Punched cross sections for the diffusion code

Cross sections

WORD	1	2	3	4	5	6	7	8
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	73-75	76-80
FORMAT	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	Alpha-numeric	Alpha-numeric
CARD	$\sigma_{f, g}$	$\sigma_{f, g}$	$\sigma_{c, g}$	$\sigma_{tr, g}$	$\sigma_{tot(n, 2n), g}$	$\sigma_{g \rightarrow g+1}$	Punch Card Identification	-FXtl
SYMBOL								

Supplied one card for each energy group ( $g = 1, 2, \dots, G$ ).

Full transfer matrix (supplied, if word 4 on card 44 is equal to 2)

WORD	1	2	3	4	5	6	7	8
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	73-75	76-80
FORMAT	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	Alpha-numeric	Alpha-numeric
CARD	$\sigma_{g \rightarrow 1}$	$\sigma_{g \rightarrow 2}$	$\sigma_{g \rightarrow 3}$	etc.	$\sigma_{g \rightarrow G}$		Punch Card Identification	-fG-l
SYMBOL								

Supplied as many card as needed starting with group 1 (each group  $g$  with a new card).  $l$  is the card number for group  $g$ .

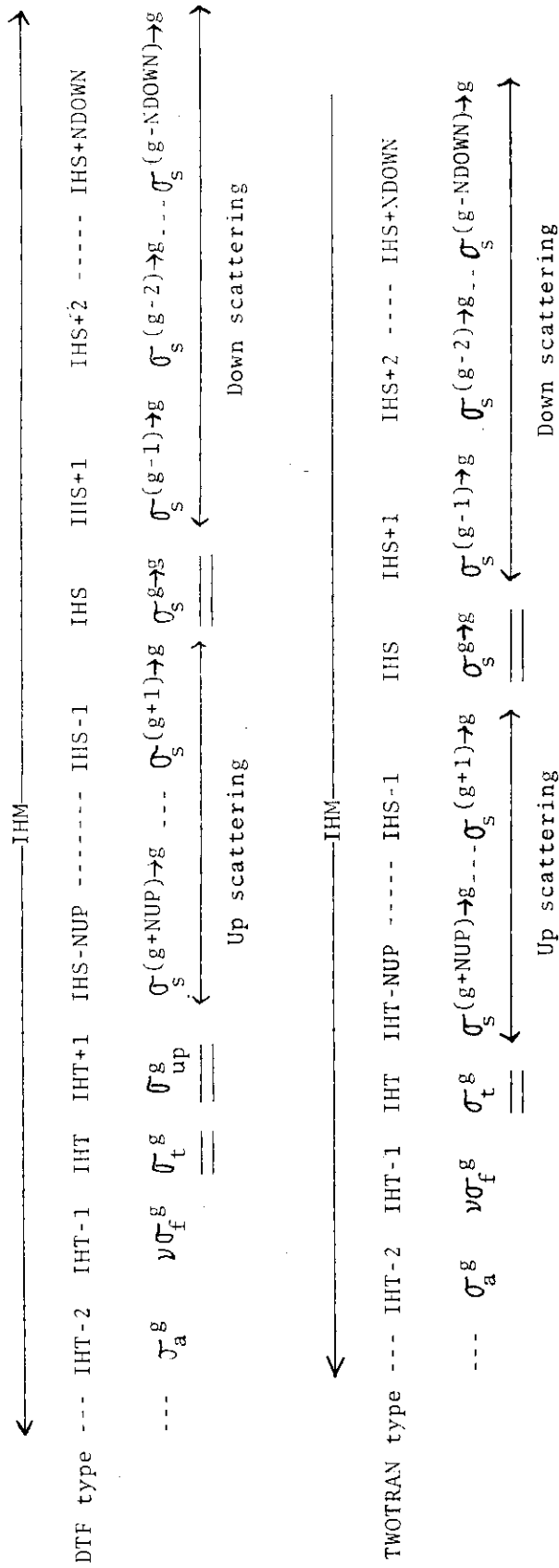


Fig. 5.1 Comparison between two input formats of DTF-IV and TWOTRAN transport computer codes

$$\left( \sigma_{up}^g = \sum_{g'=1}^{g-1} \sigma_{so}^{g \rightarrow g'} \right)$$



Table 5.12 Punched cross sections for the transport code

Header card

WORD	1	2		3	4	5	6
COLUMN	1-60	61-63		73-74	75-77	78	79-80
FORMAT	Alpha-numeric	Alpha-numeric		I2	A3	A1	I2
CARD 1	Nuclide or Mixture Identification	Pbl		bo	Punch Card Identification	l	bo
SYMBOL							

A Header card is supplied for each  $l$ -matrix which is to be punched ( $l$  stands for blank,  $l = 0, 1, 2, 3$ ). The Punch Card Identification is the same for all cards of a nuclide or mixture.

Cross Sections

WORD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	73-74	75-77	78	79-80
FORMAT	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	I2	A3	A1	
CARD 2	$\sigma_{any}$	$\sigma_{tr}$	$\sigma_a$	$\nu\sigma_f$	$\sigma_{tot}$	$\sigma_{g+NUP}$ $s, l$ (*)	$g$	Punch Card Identification	$l$	$l$
SYMBOL										

If  $l$  is different from zero, then words 1 to 4 will be blank. Supplied as many cards 2 as needed starting with group 1. Start each group  $g$  with a new card (index  $j = 1$ ).

\*) See the text.

Cross sections

WORD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	73-74	75-77	78	79-80
FORMAT	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	E12.5	I2	A3		
CARD 2	$\sigma_{s,l}^{H+2-g}$	$\sigma_{s,l}^{H+1-g}$	$\sigma_{s,l}^{H-g}$	$\sigma_{s,l}^{H-1-g}$	etc.	$\sigma_{s,l}^{g-DOWN-g}$	$g$	Punch Card Identification	$l$	$l+1$
SYMBOL										

Fig. 5.2 Flow chart of GGC-4 code

1. Overall Flow Diagrams

a) Fast Section Overall Flow Diagram

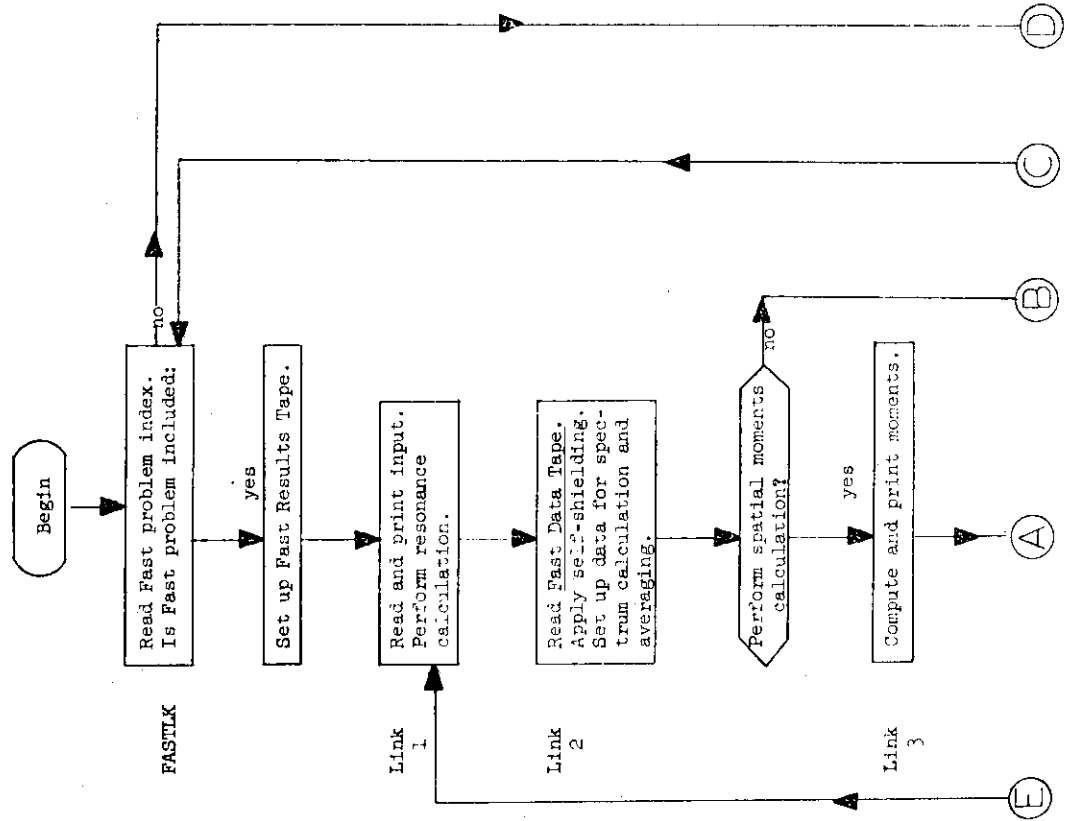


Fig.5.2 (Continued)

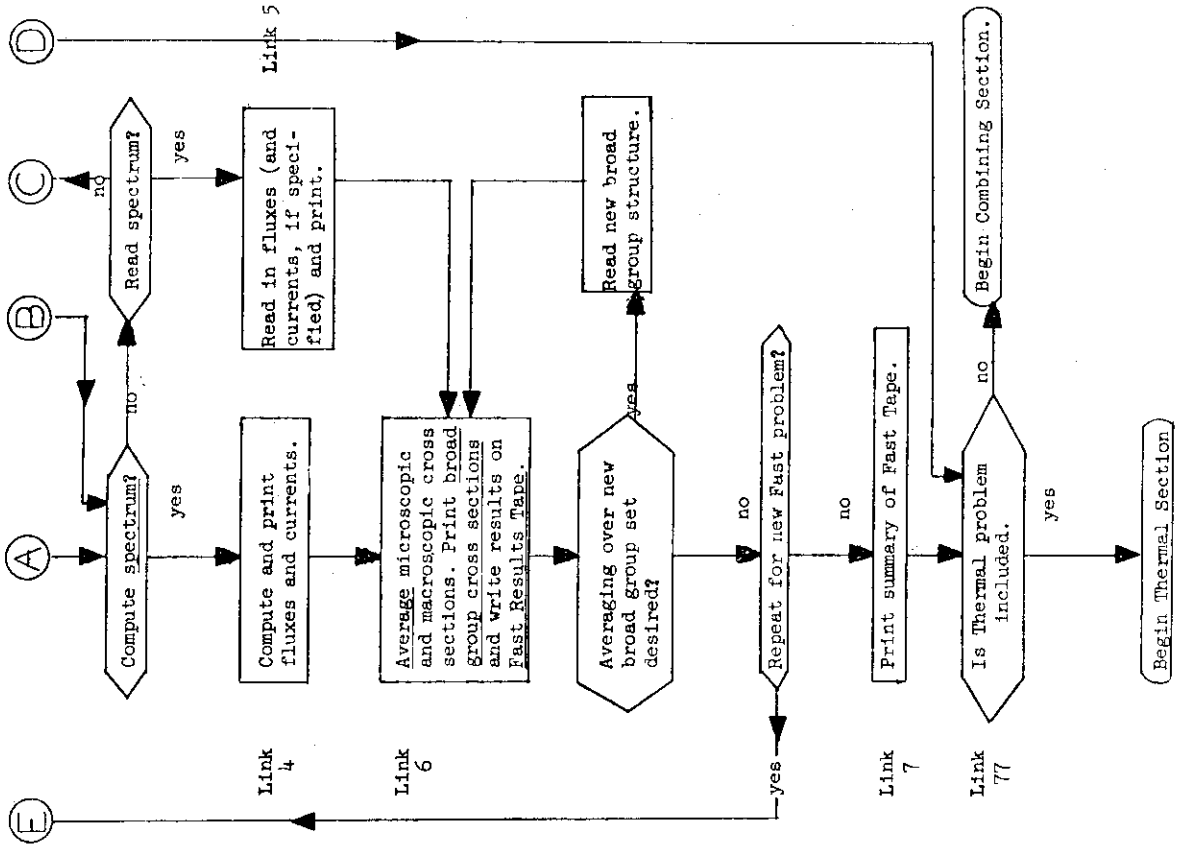


Fig.5.2 ( Continued )

b) Thermal Section Overall Flow Diagram

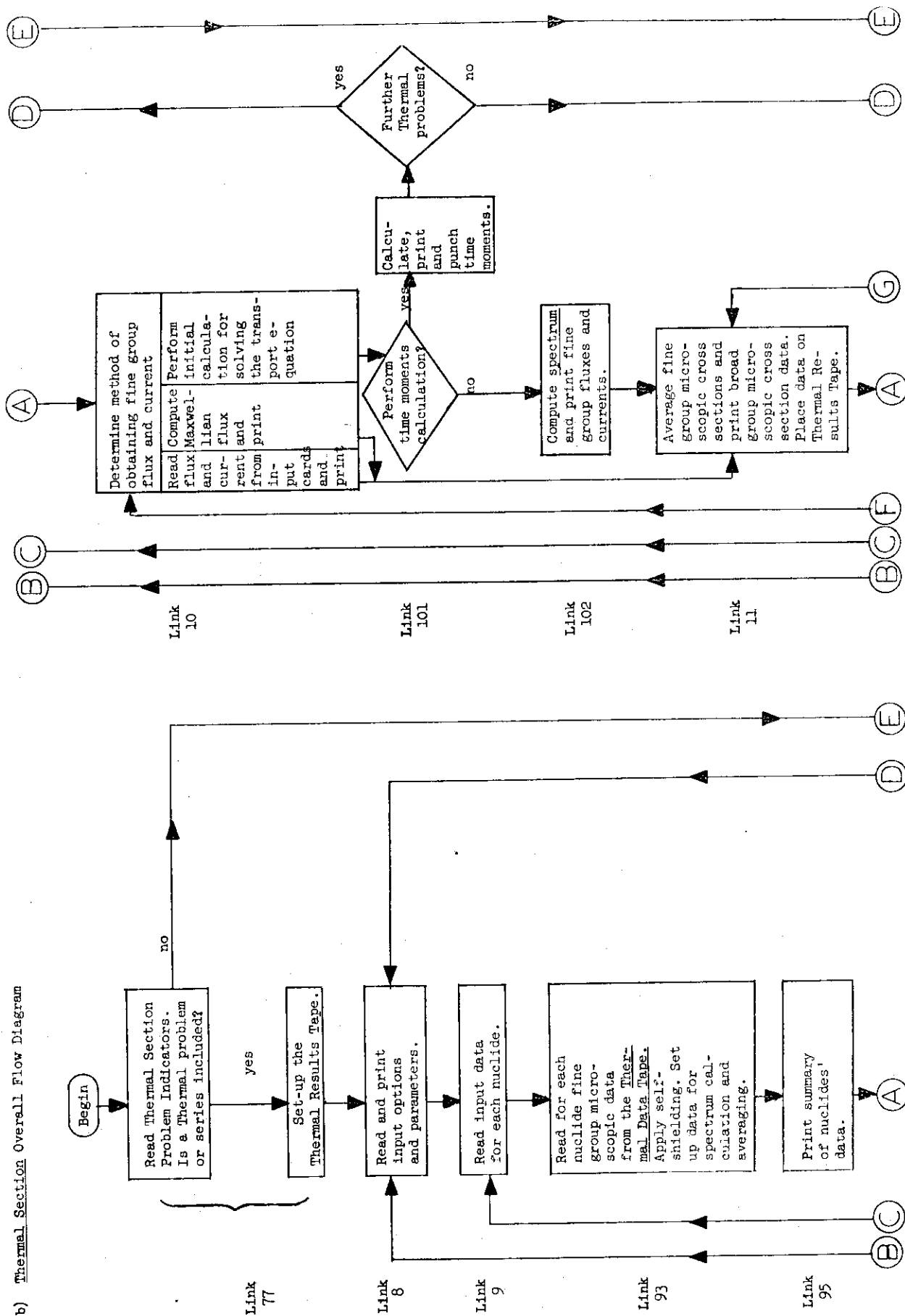


Fig. 5.2 (Continued)

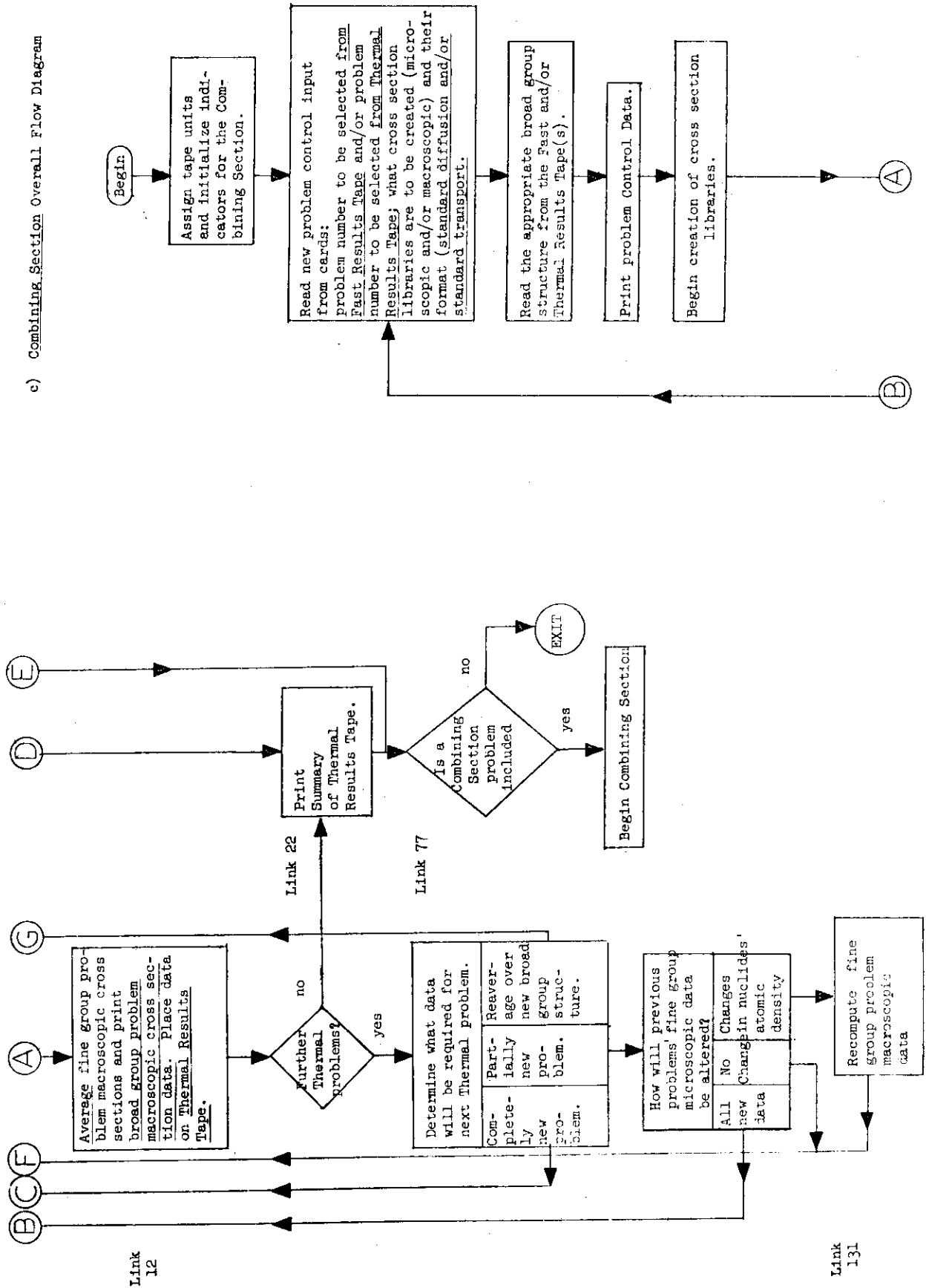


Fig. 5.1 Continued

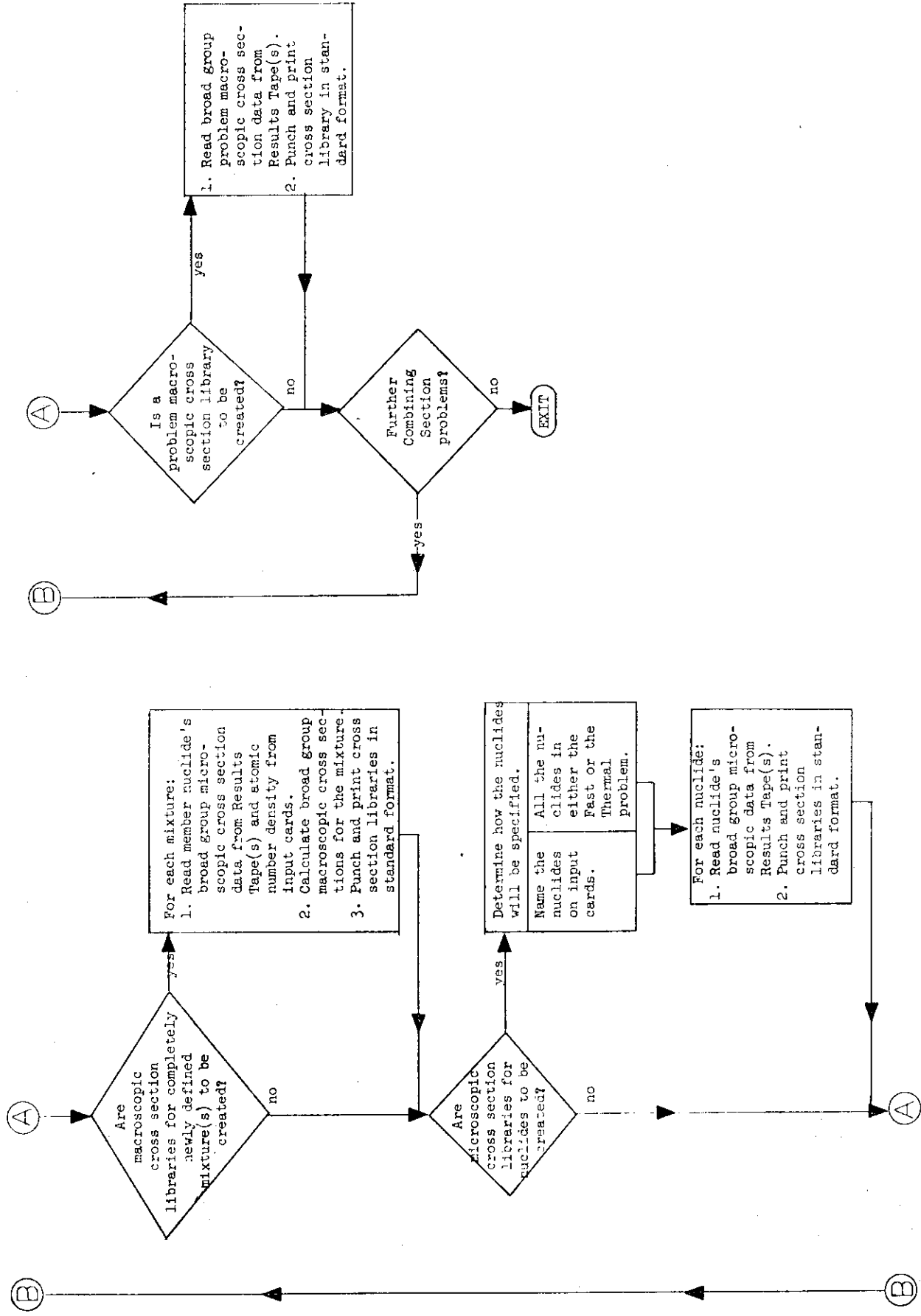


Fig. 5.1 Continued

Table 5.13 Error messages

In case of an error message the computer run is usually terminated.  
 a) Fast Section

Table 5.13 ( Continued )

Subroutine Where Message Printed	Subroutine Calling Error Subroutine	Subroutine Where Message Printed	Subroutine Calling Error Subroutine
FASTLK	FASTLK	LINKL	LINKL
Label on Results Tape does not agree with label specified by input.	Error detected and error message printed.	LINKL	LINKL
ERROR STOP IN LABEL CHECK OF FAST RESULTS TAPE	Resonance calc. requested for a nuclide which does not have resonance parameters on Fast Data Tape.		
TAPE REQUESTED = _____	NUCLIDE _____ DOES NOT HAVE RESONANCE PARAMETERS ON DATA TAPE.		
TAPE MOUNTED = _____			
LINKL	LINKL	GRID	LINKL
Difficulty in reading Fast Data Tape number (last record).	In resonance calculation, MESH INTERVALS EXCEED STORAGE LIMIT (501). TRY SMALLER (R) THAN _____ OR TRY SMALLER (S) THAN _____		
ERROR ENCOUNTERED WHILE ATTEMPTING TO READ FAST DATA TAPE			
LINKL	LINKL	CROSS	LINKL
Fast data tape number does not agree with number specified by input.	In resonance calc. too many iterations IN CALCULATION OF PSI AND CHI, CONVERGENT SERIES UNCONVERGED AFTER 100 ITERATIONS. Problem continued with last values of sci and chi.		
FAST DATA TAPE NUMBER _____ WAS LOADED INSTEAD OF TAPE NUMBER _____ WHICH WAS SPECIFIED.			
LINKL	LINKL	LINKL	LINKL
More nuclides are specified for problem than exist on Fast Data Tape.	THE FAST DATA TAPE HAS A NEGATIVE I.D. NUMBER.		
PROBLEM HAS _____ NUCLIDES, BUT FAST DATA TAPE HAS ONLY _____ NUCLIDES ON IT.	A B CALCULATION CANNOT BE PERFORMED. A B1 CALCULATION WILL BE CARRIED OUT INSTEAD.		
LINKL	LINKL	LINKL	LINKL
A nuclide number specified for problem not found on Fast Data Tape.	THE FAST DATA TAPE HAS A NEGATIVE I.D. NUMBER. IT IS IMPOSSIBLE TO EVALUATE 6 SPATIAL MOMENTS. ONLY 2 SPATIAL MOMENTS WILL BE CALCULATED.		
NUCLIDE NUMBER _____ NOT ON FAST DATA TAPE NUMBER _____ NUCLIDES ON DATA TAPE ARE (list follows)			

Table 5.13 ( Continued )

Table 5.13 ( Continued )

b) Thermal Section

Subroutine Where Message Printed	Subroutine Calling Error Subroutine	Subroutine Where Message Printed	Subroutine Calling Error Subroutine
LINK 77		ERROR 9 by LINK 93	
ERROR 8 by LINK 8		ERROR A by AVRGA	
ERROR 8 by MINP		ERR 13 by LINK 13	
ERROR A by LINK 12		ERR 13 by LINK 13	
ERR 13 by LINK 13			
ERROR 8 by MINP			
ERROR A by LINK 12			
ERR 13 by LINK 13			

Error detected and error message printed.

A nuclide number specified for problem cannot be found on the data tapes. I.D. NUMBER FOR NUCLIDE NUMBER \_\_\_\_\_ DOES NOT EXIST ON DATA TAPE. THIS RUN CANNOT BE CONTINUED.

The one group upper boundary does not match one of the specified broad group boundaries. LIMIT FOR ONE GROUP EDIT IS NOT ON A BROAD GROUP BOUNDARY.

INPUT ERROR FOR THE PARTIALLY NEW PROBLEM. THERMAL SECTION LINK 13.

When specifying a partially new problem, where the microscopic data from the previous problem is to be altered a nuclide which did not appear in the previous problem was specified to have its atomic density changed.

ERROR, ATOM DENSITY HAS BEEN SPECIFIED FOR MATERIAL NO. \_\_\_\_\_ WHICH DID NOT APPEAR IN PRECEDING PROBLEM.

Error detected and error message printed.

Label on Thermal Results Tape does not agree with label specified by input. ERROR STOP IN LABEL CHECK OF THERMAL RESULTS TAPE FOR GGC-3. TAPE REQUESTED = \_\_\_\_\_ TAPE MOUNTED = \_\_\_\_\_.

Label on Thermal data tape does not agree with label specified by input. WRONG DATA TAPE WAS MOUNTED ON TAPE UNIT \_\_\_\_\_ TAPE REQUESTED WAS \_\_\_\_\_ TAPE ACTUALLY MOUNTED WAS LABELED \_\_\_\_\_.

The broad group upper energy boundaries were out of descending order on the input cards. BROAD GROUP ENERGIES ARE OUT OF ORDER. CHECK INPUT CARDS.

A negative number was input for B<sup>2</sup>. NEGATIVE BUCKLING IS NOT PERMITTED.

Some broad group boundary does not match an existing fine energy point from the data tape.

ERROR\* \* BROAD GROUP ENERGY BOUNDARIES DO NOT CORRESPOND TO EXISTING ENERGY POINTS.

Table 5.13 ( Continued )

c) Combining Section

Subroutine Where Message Printed	Subroutine Where Error Directed	Error detected and error message printed.	Subroutine Where Error Directed	Error detected and error message printed.
COMBO	COMBO	An error detected earlier during Fast or Thermal Section execution prevents execution of Combining Section.	LCNTRL	A fast nuclide identification number of 0.0 has been requested in the input.  ERROR NUMBER 8
ERR15	SETUP	Neither a problem number from the Fast Results Tape nor a problem number from the Thermal Results Tape have been specified. ERROR NUMBER 1	LCNTRL	A fast nuclide identification number not present on the Fast Results Tape has been requested.  ERROR NUMBER 9 ERROR NUMBER 10
ERR15	FLOCA	A requested problem from the Fast Results Tape and presumably stored on the Fast Results Intermediate Storage Tape cannot be located. ERROR NUMBER 4	LCNTRL	A thermal nuclide identification number of 0.0 has been input although a Thermal Results Tape is being used.  ERROR NUMBER 11
ERR15	FLOCB	A requested problem from the Thermal Results Tape and presumably stored on the Thermal Results Intermediate Storage Tape cannot be located. ERROR NUMBER 5	LCNTRL	A thermal nuclide identification number not present on the Thermal Results Tape has been requested.  ERROR NUMBER 12 ERROR NUMBER 13
			IPRINT	Lower boundary of last fast broad group does not match upper boundary of first thermal broad group.  ERROR - ABOVE LIMITS DO NOT MATCH THIS RUN CANNOT BE CONTINUED.



6 補助プログラム<sup>6)</sup>

GGC-4を用いる場合には、200核種以上含まれているマスターデータテープ (master data tape) から、ユーザーが使う為の、少ない核種からなるワーキングデータテープ (working data tape) を作り、これを用いた方が、計算時間の上からも得策である。このときに、合金 (例えば、ステンレススチール、 Hastelloy など) のデータも作っておいて、ワーキングデータテープに含ませておけば、更に使いやすい。この他に、古いデータを取りかえたり、新しいデータを追加する機能もあればさらに便利である。これら一連の機能が補助コード群としてまとめられているので、以下に、用法の説明と使用例を示す。

おのおのの補助プログラムの機能の関係を Fig. 6.1 に示す。原研に存在するデータテープは、GAM用マスターデータテープ2本とGATHER用マスターデータテープ1本から成っている。GAM用とGATHER用とは、それぞれ殆んど同じ機能を持つ補助コード群から構成されている。

使用例は各補助コードの説明の後に付けてある。6.1.1節 (GAM用) と6.2.1節 (GATHER用) はこれら説明の中で引用した注意事項をまとめたものであるので必要に応じて引用されたい。

## 6.1 GAM用補助プログラム

GGC-4コードのGAMセクションの為のライブラリーテープを作成するプログラム群がここで用意される。マスターデータテープには龐大な量の核種のデータが含まれているので、これを直接データテープとして用いるのは、計算時間の上から云っても得策でない。したがって、マスターデータテープから、予め、必要と思われる核種のデータを選びだして、使いやすい、短かい、ワーキングデータテープを作っておくプログラムが必要である。また、この際、ステンレススチールのような合金も1核種として取り扱い、ワーキングデータテープに追加できるプログラムも必要である。これらのプログラムはいづれも用意されている。

## 6.1.1 入力に関する注意事項

Note 番号<sup>\*1)</sup>

注 意

- 1 I.D.number は、浮動小数点で表わす。小数点より左側の整数部は、核種のZ番号を示し、小数点以下の数字は、質量数を示す。例を示すと、モリブデンは、I.D.number は42000、その同位元素Mo-94のI.D.number は42094である。また、共鳴パラメータを持つ核種に対しては、上記の数字の最後尾に、その印の数字1を付け加える。例えば、共鳴パラメータを持つMo-94のI.D.number は420941となる。ひとつの同位元素からなる核種は、I.D.number がそのままその核種を示すこととなる。例えば、 ${}^9\text{Be} = 4.009$ 。核種を沢山指定するときは、I.D.numberが増加する方向に入力すること。

\*1) 入力形式の中での説明でnote # [番号] と示してあるときはこのnote番号のことである。

- 2 非分離共鳴の計算は各エネルギー点で行われ、結局、そこでのエネルギー平均断面積として求められる。非分離共鳴の数は、断面積が計算されたエネルギー点の数である。最初のエネルギー点は、分離共鳴と非分離共鳴との切断エネルギー  $E_c$  である。そして、次々と高い方へ、エネルギー境界(点)をとっていく。次の核種に来るまでこれが続く。
- 3  $\sigma_p$  はスピンの依存しない、ポテンシャル散乱断面積である。
- 4 S-factor は、共鳴積分の計算で、単一共鳴レベルに対するエネルギー積分の範囲を計算するのに用いられる。共鳴エネルギー  $E_0$  付近で主に寄与する共鳴積分  $I_p(E_0)$  は次式で表わされる。

$$I_p(E_0) = E_1 \int_0^{\ln(E_1/(2E_0 - E_1))} F(u) \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_t} e^{-u} du$$

ここで、 $E_1$  は積分範囲に関する量で、次式で示される(4.2節を参照)。

$$E_1 = E_0 + \frac{1}{2} S \Gamma_D$$

または

$$E_1 = E_0 + 1.0 \Gamma_D$$

このSがここで入力されるS-factorで、 $^{238}\text{U}$ および $^{232}\text{Th}$ に対しては5.0の値がよく用いられる(文献9の§2.1.2)。

- 5 非分離共鳴計算では、S波共鳴のみとするので、ここでのDは、S波共鳴に対する平均レベル間隔を示す。
- 6 平均巾、 $\langle \Gamma_n^0 \rangle$ および $\langle \Gamma_\gamma \rangle$ はeVで入力する。
- 7 r-factor は、分離型の共鳴積分計算のときに用いられる数値積分の際のメッシュ間隔に関する量である。メッシュ間隔は、 $\epsilon = \Gamma_D / (r E_0)$ で与えられる。 $\Gamma_D$ は(4.8)式のDoppler巾で、 $E_0$ は共鳴エネルギーである。もしrに何も入力しないと、コードの中では、 $r = 5.0 + 0.25 \Gamma_D / \Gamma$ として計算される。
- 8  $P_0$  slab array は、分離共鳴計算における板状格子の衝突確率である。正確な $P_0$  arrayを入力すべきであるが、極端な稠密格子でなければ普通は近似式が用いられる。GGCで用意されているのは、近似で、文献1)のappendix-IIに示してある。このことは $P_0$  cylinder arrayでも同様である。
- 9  $P_0$  cylinder array は、円筒状格子に対する衝突確率である(Notes 8参照)。
- 10 J volume table は、非分離共鳴計算のときに用いられる(4.5.3)式の $J(\epsilon, \beta)$ 関数の配列である。 $J(\epsilon, \beta)$ はNather, Nordheim等によって与えられたテーブルから内挿して用いられる。<sup>9)</sup>

11      こので用いるエネルギー点は、Thermal section (GATHE) で用いるエネルギー点と一致していなければならない。エネルギーの高くなる方向に順次入力する。

12      それぞれのエネルギーグループに対する核分裂スペクトラム ( fission spectrum )  $\chi_i$  は、核分裂スペクトラムの全エネルギーに対する和、 $\chi$  に対する割合として入力する。すなわち、

$$\sum_{i=1}^{NEP-1} \chi_i = 1.000 .$$

で、NEPは、Fast section の微細エネルギー境界点 ( 99点 ) の数を示す ( エネルギーグループ数 + 1 )。

13      後述のSS ( 16 ) は、 $P_0$  弾性散乱マトリックスの配列の数である。 $P_1$ 、 $P_2$ 、および $P_3$  の配列の数も $P_0$  と同じ数でなければならない。

14      SS ( 17 ) は、入射エネルギーグループの数である。Fast section のライブラリーデータで与えられている微細エネルギーグループ数 ( 99.0 ) と等しい。

15      SS ( 18 ) は、弾性散乱マトリックスにおける下方散乱のエネルギーグループ数の最大の値で、それ自身のエネルギーグループ内の散乱 ( in-group term ) を含む。

16      SS ( 19 ) から SS ( 24 ) は、弾性散乱のときに与えたデータと同様に入力する。 $P_1$ 、 $P_2$ 、および $P_3$  の配列は、非弾性散乱および ( n, 2n ) 散乱に対しては入力しない。

17      SS ( 27 ) は、すべての種類の散乱 [ 弾性、非弾性、( n, 2n ) など ] マトリックスの配列の数の総和である。Fast section 99 エネルギーグループ数から成っているので、このでの値は、一般には 5049 である。

18      1次元データの配列は、次の指標 ( I . D . ) に従って、順次入力される。

I.D.      反応断面積の種類

- 1      吸収
- 2      核分裂
- 3       $\rho$ 、核分裂によって生まれた核分裂中性子の平均数 ( 遅発中性子も含む )。
- 4      ( n,  $\gamma$  ), 捕獲吸収
- 5      ( n, p )
- 6      ( n,  $\alpha$  )
- 7      ( n, d )
- 8      ( n, t )
- 9      ( n, n )<sub>p</sub>
- 10     ( n, n )<sub>d</sub>

- 11 ( n , n )<sub>t</sub>
- 12 ( n , t )<sub>2α</sub>
- 13 ( n , n )<sub>d, 2α</sub>
- 14 ( n , t )<sub>α</sub>
- 15 ( n , 2α )

上記以外の反応断面積があれば、15より大きいI.D.を与えて入力すればよい。

19 弾性P<sub>0</sub>散乱断面積は、間を空けずに次のように配列する。単位はバーン ( barns ) である。

$$\begin{aligned} &\sigma_{1 \rightarrow 1}^0, \sigma_{1 \rightarrow 2}^0, \sigma_{1 \rightarrow 3}^0, \dots, \sigma_{1 \rightarrow [1+SS(18)-1]}^0, \sigma_{2 \rightarrow 2}^0, \sigma_{2 \rightarrow 3}^0, \\ &\dots, \sigma_{2 \rightarrow [2+SS(18)-1]}^0, \sigma_{3 \rightarrow 3}^0, \sigma_{3 \rightarrow 4}^0, \dots, \\ &\sigma_{3 \rightarrow [3+SS(18)-1]}^0, \dots, \\ &\sigma_{N \rightarrow N}^0, \sigma_{N \rightarrow N+1}^0, \dots, \sigma_{N \rightarrow [N+SS(18)-1]}^0, \dots \end{aligned}$$

全配列数は、SS(16)で与えた数だけある。同様にして、弾性P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>散乱断面積も配列する。

20 非弾性および(n, 2n)散乱断面積もP<sub>0</sub>弾性散乱断面積と同様の配列をする。しかし、散乱のエネルギーグループ数が、これらの断面積に対して、一般には100としているので、非弾性散乱断面積に対して示せば次のような配列になる。

$$\begin{aligned} &\sigma_{1 \rightarrow 1}^{in}, \sigma_{1 \rightarrow 2}^{in}, \dots, \sigma_{1 \rightarrow 100}^{in}, \sigma_{2 \rightarrow 2}^{in}, \sigma_{2 \rightarrow 3}^{in}, \dots, \sigma_{2 \rightarrow 100}^{in}, \\ &\sigma_{3 \rightarrow 3}^{in}, \sigma_{3 \rightarrow 4}^{in}, \dots, \sigma_{3 \rightarrow 100}^{in}, \dots, \sigma_{SS(20) \rightarrow SS(20)}^{in}, \dots, \\ &\sigma_{SS(20) \rightarrow 100}^{in}. \end{aligned}$$

99エネルギー点を持つ現在のライブラリーテープでは、これより下に100エネルギーグループをdumpとして持っている。したがって、99エネルギーグループの境界(0.414 eV)より下のすべてのエネルギーに散乱する散乱断面積を持つことになる。

21 NEPは、微細エネルギーグループの数+1の数である。現在のライブラリーデータは、99エネルギーグループなので、結局NEP=100である。

22 Fast section (GAM)の計算では、熱中性子スペクトラム計算(GATHER)の為の減速中性子源を求めることもできる。したがってThermal section (GATHER)のライブラリーのエネルギーメッシュ点がこのように与えられている。

23 共鳴を持つ全ての核種の共鳴パラメータは、Fast section (GAM) の計算の際に、共鳴計算が最初に遂行されるように、データテープの初めの処にまとめて置かれている。

24 BST(I) は、エネルギーグループ i に対する  $\sigma_{total}$  で、次のように定義される。

$$\sigma_i^{total} = \sigma_i^{abs} + \sum_{j=1}^{j=[i+ss(18)-1]} \sigma_{j \leftarrow i}^0 \text{ (elastic)}$$

$$+ \sum_{j=1}^{j=100} \sigma_{j \leftarrow i}^{in} + \sum_{j=1}^{j=100} \sigma_{j \leftarrow i}^{n, 2n}$$

25  $i \rightarrow j$  の、全散乱マトリックスは次式で定義される。

$$\sigma_{j \leftarrow i}^{total \text{ scattering}} = \sigma_{j \leftarrow i}^0 \text{ (elastic)} + \sigma_{j \leftarrow i}^{in} + 2\sigma_{j \leftarrow i}^{n, 2n}$$

26 エネルギーグループ i に対する散乱断面積は、次式で定義される。

$$\sigma_i^{scatter} = \sum_{j=i}^{j=[i+ss(18)-1]} \sigma_{j \leftarrow i}^0 \text{ (elastic)}$$

27 エネルギーグループ i に対する  $P_i$  非等方成分の散乱断面積は次式で定義される。

$$\sigma_i^{P_i \text{ scatter}} = \sum_{j=i}^{j=[i+ss(18)-1]} \sigma_{j \leftarrow i}^1$$

### 6.1.2 マスターデータテープの作成：MAKEコード

MAKEコードはGAM用マスターライブラリテープを作成する。カードからでも、他のテープからでもよい。新しい核種を追加したり、不要の核種を削除したりすることも可能である。これらの機能は、マスターデータテープに対しても、ワーキングテープに対しても適用できる。

### 6.1.3 ワーキングデータテープの作成：MSTコード

MSTコードは、含まれている核種の少ないハンディなワーキングデータテープを作成する。核計算に必要と思われる核種を、予め、マスターデータテープから選び出して核種の少ないデータテープを作るので、このテープを用いれば、テープから核種を探し出す時間がかなり縮少できる。

また別の機能として、全核種の散乱マトリックスの非等方成分を制限（例えば、 $\sigma_0$  と  $P_i$  散乱のみ）することができる。

### 6.1.4 合金物質の作成：MIXERコード

MIXERコードはデータテープ（マスターデータテープまたは、ワーキングデータテープ）に含まれている核種の中から、2つ以上を選び出して、ひとつの核種として合成する機能を持

っている。例えば、ステンレスチール (SST304はFe, Cr, Ni, Mn, Si, Cから成っている)<sup>17)</sup> やハステロイ (Hasteloy-XはNi, Cr, Fe, Mo, Co, Mn, Wから成っている)<sup>18)</sup> を作る如きである。合金の成分比は原子数比 (atomic density fraction) で与えなければならない。よく使われる合金などの成分比は文献 17) および 18) に示されている。結果はパンチカードで出力され、データテープへの追加はMAKEコードによって行われる。

合金 (こゝでは, alloy, compound, mixture などを指す) の作成は次式による。

$$\sigma_x (\text{合金}) = \sum_{i=1}^N W_i \sigma_{x_i} \quad (6.1)$$

こゝで、 $W_i$  は合金を作る際の原子数比<sup>\*2)</sup> で示された成分比であり、 $N$  は合金の成分の核種の数である。散乱マトリックスについても式 (6.1) に従う。

#### 6.1.5 データテープの内容のプリント：FPRIINTコード

FPRIINTコードは、データテープ (マスターデータテープ又はワーキングデータテープ) の内容の一部又は全部をプリントさせる機能を持つ。その際、散乱マトリックスをプリントから削除することもできる。

\*2) 材料関係の文献では合金の成分比として重量比 (Weight fraction) として記されていることが多いので、原子数比に換算しなければならない。

## 6.2 GATHER用補助プログラム

GGG-4のGATHERコードのためのライブラリーテープを作成するプログラム群がこゝで用意される。これらのデータテープではGAMコード(99レサージ点)と異って、101点のエネルギー点で示されていて、エネルギー範囲は、0.0 eVから2.38 eVまでである。したがって、あるエネルギー点の断面積 $\sigma_i$ は、 $\Delta E_i$ の中の断面積を意味する。

GAM用と同様な機能をもつプログラムがこゝに示されている。MGTコードは、マスターデータテープからマスターデータテープを作る。WTFGコードは、データテープを作成したり、核種を追加したり、またそれを削除したりする。その他に、合金を作るCOMBINコード、データテープの内容をプリントするSPRINTコードがある。

6.2.1 入力に関する注意<sup>\*</sup>)

Note 番号	注 意
1	このカードにパンチされている文字は、古いテープに書かれているラベルと、文字の位置および内容がすべて一致していなければならない。
2	ユニット番号、12と14はラベル付きのテープで、13はラベルなしのテープである。OPT=0.0は、新しいデータテープの作成か、新しいデータを古いテープに追加するか、のときに適用される。
3	吸収断面積、核分裂断面積、あるいは、捕獲吸収断面積が $1/v$ であるときは、後述のWTFGコードは、GATHERのNRG微細エネルギー点での断面積としてこれを計算することができる。
4	共鳴パラメータがThermal Data tapeに書かれているが、GATHERコードの計算では決して用いられない。
5	後でTable 6.5 Aに示されるKERN=0のときは、KCALCは無視される。
6	Table 6.5 Aで、UBAR=0.0のときは、NRGエネルギー点での $\sigma_{tr}$ がcard 14で読み込まれる。 $0.0 < \text{UBAR} < 1.0$ のときは、 $\text{UBAR} = \bar{\mu}$ として読み込まれ、 $\sigma_{tr}$ は、WTFGコード内で、次式によって計算される。 $\sigma_{tr} = \sigma_{abs} + (1 - \bar{\mu})\sigma_s$ ここで、 $\sigma_s$ は散乱断面積：SSC(NRG)であり、 $\bar{\mu}$ は、実験室系における、散乱角度のcosineの平均値である。 $\text{UBAR} \geq 1.0$ のときは、UBARは、標的核の質量を示し、 $\bar{\mu} = 1 - 2 / (3 \times \text{UBAR})$ として計算され、 $\sigma_{tr}$ が求められる。
7	$\nu$ = 核分裂事象当りの発生中性子数で、エネルギーに無関係な定数。
8	自由原子散乱断面積( $\sigma_{fa}$ )は後述の(6.9)式の中で用いられている。
9	Table 6.5 AでBSORC=0.0のときは、水素を含まない物質に対しての

\*) 6.1.1節の欄外注\*)1)参照

減速中性子源で、(6.14)式および(6.15)式から計算される。BSORC = 1.0 のときは、水素を含む物質に対してのそれで、(6.16)式および(6.17)式から計算される。 $\bar{E}$ は、card 31で与えられる。

10 入力される散乱カーネルの最も高いエネルギー点 $E_c$ が、このデータテーブルに既にあるデータの最も高いエネルギー点 $E_c$ より小さいならば、自由ガスモデルの散乱カーネルが、入力散乱カーネルの不足分として計算され、追補される。

11 card 20のTGASは、自由ガス散乱カーネルの計算の際に用いられる実効温度で、°Kで示し、一般にはGASKETコードの出力から得られる。GASKETコードの中で計算される実効温度は、TOTAL TBARと呼ばれ、eVで示されていて、TGASとは次式の関係を持つ。

$$TGAS = (TOTAL \ TBAR) / 8.6164 \times 10^{-5}.$$

12 Beおよび黒鉛のような、多結晶格子を持つ減速材の散乱カーネルは、干渉性弾性散乱断面積が必要である。そのときはcard 21およびcard 22が必要である。

13 干渉性散乱断面積の $P_0$ および $P_1$ 成分は、一般には、HEXSCAT<sup>26)</sup>コードで計算される。これらの数値は、自由原子散乱断面積に規格化されている。すなわち、 $SFA = \sigma_{fa}$ を使い

$$SDO(E_i) \text{ [テーブル上の]} \\ = SFA \times SDO(E_i) \text{ [入力される量]},$$

および

$$SD1(E_i) \text{ [テーブル上の]} \\ = SFA \times 3.0 \times SD1(E_i) \text{ [入力される量]}.$$

14 WTFGコードに対する入力としては、それ自身のエネルギーグループに対する散乱カーネルと下方散乱のカーネルのみで全散乱カーネルとしての散乱マトリックスは、このコードの中で計算される。すなわち、詳細釣り合い則(detailed balance principle)を用いて、上方散乱の項が計算される。エネルギー点jからiへ散乱に対する上方散乱の項は、

$$K_s(E_j \rightarrow E_i) = K_s(E_i \rightarrow E_j) \frac{E_i}{E_j} e^{-\left(\frac{E_i - E_j}{kT}\right)}$$

で与えられる。結局、データテーブルの中では、散乱マトリックスの全配列が書かれていて、それらは、barns/eVで示されている。 $P_0$ 散乱の配列は、 $SO(I, J)$ で示され、WTFGコードでは次式で計算される。

$$SO(I, J) = \sigma_{fa} \times K_s^0(I, J)$$

そして、 $P_1$ 散乱に対しても同様に

$$S1(I, J) = 3.0 \times \sigma_{fa} \times K_s^1(I, J).$$



- 15 DE(I)は、エネルギー点の処で、 $\Delta E$ の巾を持つ量で次式で与えられる。

$$DE(I) = \frac{E(I+1) - E(I-1)}{2}$$

- 16 吸収タイプの物質に対する散乱断面積：SSC(I)は、WTFGコードで入力として与えられるか、あるいはWTFGコード内で散乱カーネルとして計算され、次の様にして求められる量である。

$$E(I) \leq \alpha \times E_c \text{ に対して } [E_c = E(\text{NRG}); \text{熱エネルギー点の上限}],$$

$$SSC(I) = SDO(I) + \sum_{J=1}^{\text{NRG}} SO(I, J) \times DE(J).$$

しかし、 $E(I) > \alpha \times E_c$ に対しては、中性子が $E_c$ より高いエネルギーへ散乱されることもあるので、この分については、自由ガスモデルによる散乱断面積として追補され、結局

$$\alpha \times E_c \leq E(I) \leq E_c \text{ に対して}$$

$$SSC(I) = SDO(I) + \sum_{J=1}^{\text{NRG}} SO(I, J) \times DE(J)$$

$$+ \sigma_{fa} \times \frac{kT}{1-\alpha} \times \left[ e^{-\frac{E_c - E(I)}{kT}} - e^{-\frac{1-\alpha}{\alpha} \times \frac{E(I)}{kT}} \right]$$

- 17 card 25で

- 1) 新しい $\nu$ の値を入力[word 4(:NF)<0]すべきときは、card 15のYNUに入力する。
- 2) 新しい $\sigma_f$ の値を入力[word 5(:NF)>0か=-4]すべきときは、card 16に入力する。
- 3) 新しい共鳴パラメータを入力[word 5(:NRS)=1のとき]すべきときは、card 17およびcard 18に入力する。
- 4) 散乱カーネルの入力パラメータを変更[word 6(:NCHGK)>0のとき]するときは、card 19に入力する。
- 5) 新しい散乱カーネルを入力[word 6(:NCHGK)=2のとき]するときは、card 20からcard 24までに入力する。

### 6.2.2 マスターデータテープの作成；WTFGコード

WTFGコードは、一般に新しいマスターデータテープを作成する。データテープの内容の一部を入れ換えたり、新しい核種を追加したり、古い核種を削除したりすることもできる。入

力はパンチカードで行ったり、あるいは、他のデータテープから読み込んだり、またあるいは、カードとテープを併用することができる。新しい核種を追加するときには、元のデータの最後尾に追加するので、この最後尾の核種のより大きい I.D. number にしなければならない。

WTFGコードでは、ある核種の一部（例えば、 $\sigma_c$ のみとか）、またはすべての内容を他のものと交換することもできる。

散乱カーネルは、パンチカードで入力する（例えば GASKET<sup>25)</sup>-FLANGE<sup>24)</sup> の出力も<sup>\*4)</sup>自由ガス散乱カーネルはWTFGコードに内蔵されている。散乱カーネルは下方散乱のみが、入力または計算され、上方散乱は詳細釣り合い則（detailed balance principle）によって求められる（Note 13 参照）。自由ガスモデルの  $P_0$  および  $P_1$  下方散乱マトリックスは次式によって計算される。すなわち、 $E' > E$  に対して

$$K_s^0(E' \rightarrow E) = \frac{\eta^2}{\sqrt{E'}} \{ [\operatorname{erf}(\eta x - \rho y) + \operatorname{erf}(\eta x + \rho y)] + e^{y^2 - x^2} [\operatorname{erf}(\eta y - \rho x) - \operatorname{erf}(\eta y + \rho y)] \} \quad (6.1)$$

$$K_s^1(E' \rightarrow E) = \frac{\eta^2}{2y^2} \sqrt{\frac{M}{EE'}} \{ [\eta x^2 - \rho y^2 \sqrt{M}] [\operatorname{erf}(\eta x - \rho y) + \operatorname{erf}(\eta x + \rho y)] + [\eta y^2 - \rho x^2 \sqrt{M}] e^{(y^2 - x^2)} [\operatorname{erf}(\eta y - \rho x) - \operatorname{erf}(\eta y + \rho y)] + \frac{2}{\sqrt{M}} [(x+y) e^{-(\eta x - \rho y)} - (x-y) e^{-(\eta x + \rho y)}] \} \quad (6.2)$$

ここで、 $E'$  および  $E$  はそれぞれ、中性子の衝突前および衝突後のエネルギーであり、

$$\eta = \frac{M+1}{2\sqrt{M}} \quad (6.3)$$

$$\rho = \frac{M-1}{2\sqrt{M}} \quad (6.4)$$

$$x = \sqrt{\frac{E}{kT}} \quad (6.5)$$

$$y = \sqrt{\frac{E'}{kT}} \quad (6.6)$$

\*4) GASKETコードから得られた  $S(\alpha, \beta)$  から FLANGEコードによって下方散乱のマトリックスが計算される。

$$M = \sqrt{\frac{m'}{m}} \quad (6.7)$$

である。\$m'\$は減速材の質量で、\$m\$は中性子の質量であり、\$k\$はボルツマン定数で、\$T\$は減速材の温度である。

入力としての散乱カーネルのエネルギーの上限が、既にデータテープに存在する散乱カーネルの上限エネルギー\$E\_c\$（普通は238 eV）より小さければ、不足分の散乱カーネルは自由ガスモデルからの計算結果が付け加えられる。

WTFGコードは、散乱カーネルを持つ物質の輸送断面積を次式によって計算する。すなわち

$$\sigma_{tr}(E') = \sigma_a(E') + \sigma_s(E') - \frac{\sigma_{fa}}{3} \int_0^{\infty} K_s^1(E' \rightarrow E) dE \quad (6.8)$$

ここで、\$\sigma\_a(E')\$は吸収断面積で、\$\sigma\_s(E')\$は全散乱断面積で、\$\sigma\_{fa}\$は自由原子散乱断面積でエネルギーに依存しない量である。自由ガスモデルに対しては、\$K\_s^1(E' \rightarrow E)\$は(6.2)式から得られる。他のモデルに対しては、WTFGコードに入力しなければならぬ。自由ガスモデルの全散乱断面積は、

$$\sigma_s(E') = \sigma_{fa} \int_0^{\infty} K_s^0(E' \rightarrow E) dE \quad (6.9)$$

干渉性の弾性散乱が重要な物質に対しては、

$$\sigma_s(E') = \sigma_{coh}(E') + \sigma_{fa} \int_0^{\infty} K_s^0(E' \rightarrow E) dE \quad (6.10)$$

ここで、\$\sigma\_{coh}(E')\$は、干渉弾性散乱断面積で、HEXSCATコード<sup>26)</sup>で計算される。ベリリウム(Be)、黒鉛(graphite)などの計算に用いられる。

WTFGコードは、また、GGC-4の熱中性子領域であるGATHER計算に用いるための減速源(slowing down source)の\$P\_0\$および\$P\_1\$成分を計算する。これらは、散乱カーネルを持つ各々の物質に対して求められる。水素を含まない物質に対しては、\$\frac{1}{E}\$スペクトラムを仮定した自由ガスモデルによって求められる。

#### i) 水素を含まない物質について

この減速材に対する減速源は、等方散乱成分については、

$$Q^0(E) = \int_{E_c}^{\infty} \sigma_{fa} \cdot K_s^0(E' \rightarrow E) \phi(E') dE' \quad (6.11)$$

非等方散乱成分(\$P\_1\$)については

$$Q^1(E) = \int_{E_c}^{\infty} \sigma_{fa} \cdot K_s^1(E' \rightarrow E) \phi(E') dE' \quad (6.12)$$

で与えられる。これは、0.0 eVから $E_c$  (普通は2.38 eV)までのエネルギー点(101点)に対して求められる。(6.11)式の積分は実際には次のように書くことができる。

$$Q_i^0 = \int_{E_c}^{E_i/\alpha} \frac{\sigma_{fa}}{(1-\alpha)E'} \frac{dE'}{E'} \quad (6.13)$$

$\sigma_{fa}$  はエネルギーに依存しない量なので、更に次のように書くことができる。

$$Q^0(E_i) = \frac{\sigma_{fa}}{1-\alpha} \left( \frac{1}{E_c} - \frac{\alpha}{E_i} \right) \quad (6.14)$$

$Q^1$  に対しても同様にして

$$Q^1(E_i) = \frac{2}{3} \frac{\sigma_{fa}}{1-\alpha} \left[ \frac{2(A+1)}{3} \left\{ \frac{\sqrt{E_i}}{(E_c)^{3/2}} - \frac{\alpha^{3/2}}{E_i} \right\} - 2(A-1) \left\{ \frac{1}{\sqrt{E_c E_i}} - \left( \frac{A-1}{A+1} \right) \frac{1}{E_i} \right\} \right] \quad (6.15)$$

ここで、 $\alpha = \left( \frac{A-1}{A+1} \right)^2$ 。

ii) 水素を含む物質について

WTFGコードは、分子結合を考慮した減速材が計算できる。普通は水素系減速材(例えば $H_2O$ , ZrHなど)に対して適用される。 $\frac{1}{E}$  スペクトラムを仮定すると次のように書くことができる。

$$Q^0(E_i) = \frac{\sigma_{fa}}{E_c} \operatorname{erf}(x) \quad (6.16)$$

および

$$Q^1(E_i) = \frac{2\sqrt{E_i}}{(E_c)^{3/2}} \cdot \sigma_{fa} \left[ \left(1 - \frac{1}{x^2}\right) \operatorname{erf}(x) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{x} e^{-x^2} \right] \quad (6.17)$$

ここで、

$$x = \sqrt{\frac{E_i}{\bar{E}}} \quad (6.18)$$

で、 $\bar{E}$  は結合水素原子の平均運動エネルギーの2/3である。 $H_2O$ の水素に対しては、 $\bar{E} = 0.117$  eV, ZrHの水素に対しては0.065 eV(常温)が用いられるが、実際は減速材の温度によって若干異なる<sup>30)</sup>。

6.2.3 ワーキングデータテーブルの作成；MGTコード

MGTコードはワーキングデータテーブルを作る為に、データテーブルから核種を選び出す機能をもつ。散乱カーネルはテーブルから読み込むとき時間がかかるので、省略することもできる。

6.2.4 合金物質の作成；COMBINコード

COMBINコードは、核分裂生成物 ( fission products mixture ) や合金 ( metal alloy )<sup>17) 18)</sup> のような物質の吸収断面積を作成する。したがって、核分裂する核種や、散乱カーネルを持つ核種は取り扱うことはできない。結果はパンチカードとして出力されるが、データテーブルへの追加はCOMBINコードではできない。それはWTFGコードによってなされる。散乱カーネルは、WTFGコードで付けることができる。

6.2.5 データテーブルの内容のプリント；SPRINTコード

SPRINTコードは、データテーブルの核種のすべて、あるいは一部をプリントする。その際に散乱カーネルを省略することもできる。

6.2.6 共鳴断面積の計算；DOPコード<sup>11)</sup>

DOPコードは、与えられた温度で、吸収、核分裂、および散乱等の Doppler 共鳴断面積を計算する。計算は、Maxwell の速度分布を持つと仮定した吸収原子に対して、単一レベル、S波の Breit-Wigner 公式を数値的に解くことにより行われる。こゝでは Human・Sampson<sup>11)</sup> による計算式を示す。

捕獲吸収および核分裂断面積は、次式によって求められる。

$$\sigma_{n,x}(E) = \sqrt{\frac{\beta}{4\pi}} \frac{1}{E} \int_0^\infty dE_r \sqrt{E_r} \sigma_{n,x}(E_r) \times \left\{ e^{-\beta(\sqrt{E_r} - \sqrt{E})^2} - e^{-\beta(\sqrt{E_r} + \sqrt{E})^2} \right\} \quad (6.19)$$

こゝで、x は捕獲吸収あるいは核分裂断面積を意味し、

$$\beta = \frac{A}{kT}$$

A = 吸収核と中性子との質量の比

k = Boltzmann 定数

T = 吸収物質の温度

E = 中性子のエネルギー

E<sub>r</sub> = 吸収核と中性子との相対エネルギー

である。

断面積、 $\sigma_{n,x}(E_r)$  は次式によって与えられる [(4.1) 式参照] :

$$\sigma_{n,x}(E_r) = (\sigma_{n,x})_0 \sqrt{\frac{E_0}{E_r}} \left[ \frac{\Gamma(E_0)}{\Gamma(E_r)} \right]^2 \frac{1}{\left[ \frac{E_r - E_0}{\Gamma(E_r)} \right]^2 + 1} \quad (6.20)$$

こゝで

$$(\sigma_{n,r})_0 = \left(\frac{A+1}{A}\right)^2 \cdot \frac{2\pi\hbar^2}{m} \cdot g \cdot \frac{1}{\sqrt{E_0}} \cdot \frac{\Gamma_n^0 \Gamma_r}{[\Gamma(E_0)]^2} \quad (6.21)$$

および

$$(\sigma_{n,f})_0 = \left(\frac{A+1}{A}\right)^2 \cdot \frac{2\pi\hbar^2}{m} \cdot g \cdot \frac{1}{\sqrt{E_0}} \cdot \frac{\Gamma_n^0 \Gamma_f}{[\Gamma(E_0)]^2} \quad (6.22)$$

この式で、

$$g = \frac{1}{2} \left( \frac{2J+1}{2I+1} \right); \text{統計スピン因子}$$

J = 複合核のスピン,

I = 標的核のスピン,

一般には、Jは未知なことが多いので、gは次のように考える。標的核が偶-偶核ならば I = 0 なので、g = 1とし、そうでない(I ≠ 0)ならば、g = 1/2とする。例えば<sup>240</sup>Puはg = 1であり、<sup>239</sup>Puは1/2である(文献34)参照)。

式(6.19), (6.20), (6.21), (6.22)を用いると、捕獲吸収および核分裂の断面積は

$$\begin{aligned} \sigma_{n,x}(E) &= 2.6 \times 10^6 \cdot g \cdot \frac{\Gamma_n^0 \Gamma_x}{E} \cdot \left(\frac{A+1}{A}\right)^2 \sqrt{\frac{\beta}{4\pi}} \\ &\times \int_0^\infty dE_r \frac{\{ e^{-\beta(\sqrt{E_r}-\sqrt{E})^2} - e^{-\beta(\sqrt{E_r}+\sqrt{E})^2} \}}{\Gamma^2(E_r) + 4(E_r - E_0)^2} \end{aligned} \quad (6.23)$$

一方、一般に散乱断面積は

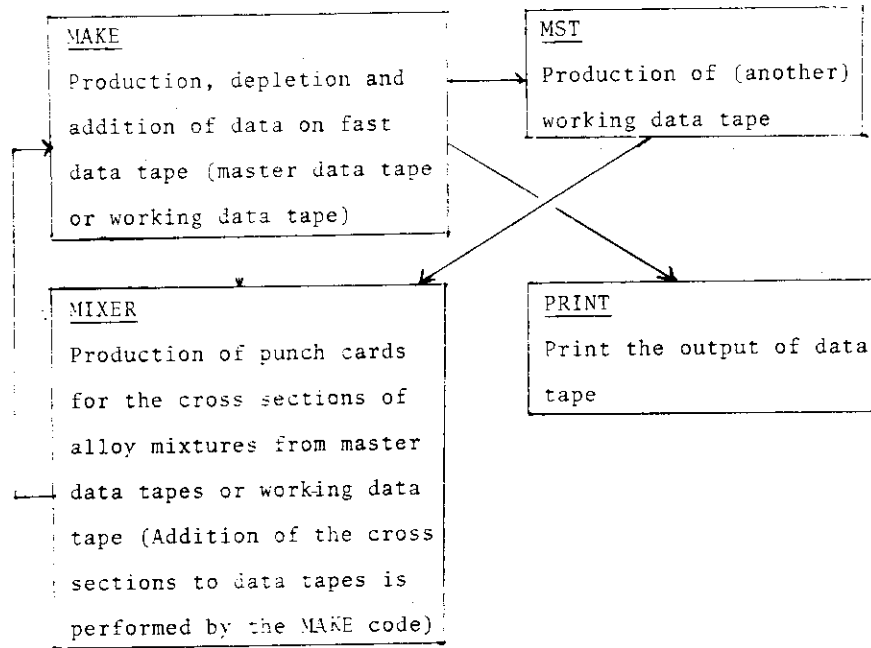
$$\begin{aligned} \sigma_{n,n}(E) &= \sigma_p + \sqrt{\frac{\beta}{4\pi}} \cdot \frac{1}{E} \int_0^\infty dE_r \sqrt{E_r} \sigma_{n,n}(E_r) \quad (6.24) \\ &= \sigma_p + \sqrt{\frac{\beta}{4\pi}} \frac{1}{E} \int_0^\infty dE_r \sqrt{E_r} \{ e^{-\beta(\sqrt{E_r}-\sqrt{E})^2} - e^{-\beta(\sqrt{E_r}+\sqrt{E})^2} \} \\ &\times \left\{ (\sigma_{n,n})_0 \left(\frac{\Gamma(E_0)}{\Gamma(E_r)}\right)^2 \frac{1}{\left(\frac{E_r - E_0}{\Gamma(E_r)}\right)^2 + 1} \right. \\ &\quad \left. + 4 \sqrt{g\sigma_p(\sigma_{n,n})_0} \frac{\Gamma(E_0)}{(\Gamma(E_r))^2} \frac{E_r - E_0}{\left(\frac{E_r - E_0}{\Gamma(E_r)}\right)^2 + 1} \right\} \end{aligned} \quad (6.25)$$

ここで、 $\sigma_p = 4\pi R^2$  ( $R$ は剛体球と考えたときの半径)は、スピンおよびエネルギーに依存しないバックグラウンド散乱断面積で、ポテンシャル散乱断面積と呼ばれているものである。(6.25)式の第2項の被積分関数の中で、 $4\sqrt{g\sigma_p \cdot (\sigma_{n,n})_0}$ が付いている項は、ポテンシャル散乱と共鳴散乱との干渉項である。

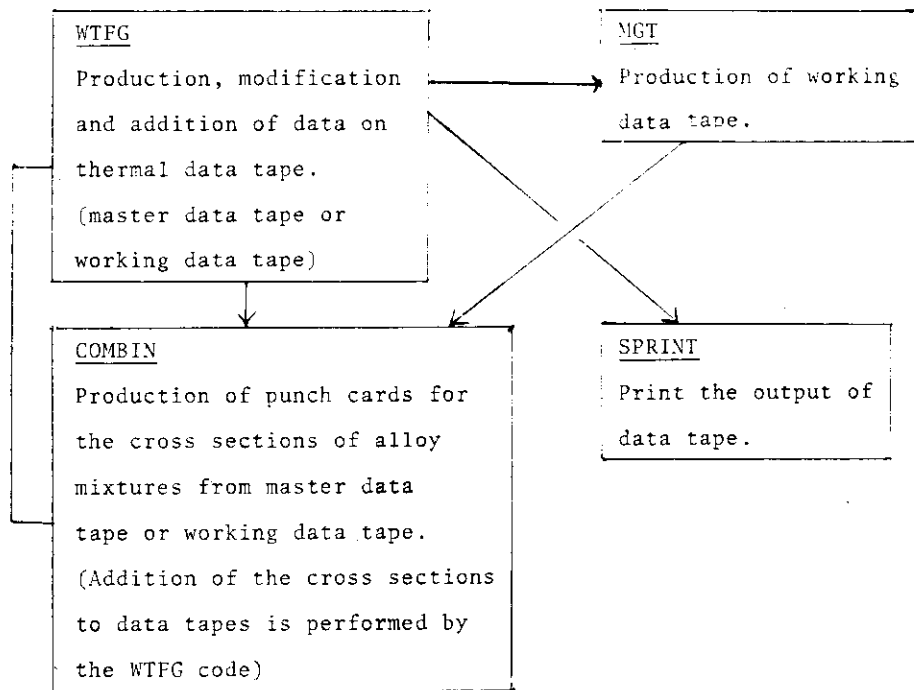
多くの場合、干渉項の寄与は小さいので、DOPコードでは、干渉項は無視している。ある低い共鳴散乱のときに、干渉項が無視できないときもある。このときの散乱断面積は、干渉項を無視したものと比べると、より大きい値となる。

したがって、DOPコードでの散乱断面積は、次式によって計算される。

$$\begin{aligned} \sigma_{n,n}(E) = & \sigma_p + 2.6 \times 10^6 \left( \frac{A+1}{A} \right)^2 \cdot g \cdot \sqrt{\frac{\beta}{4\pi}} \frac{(\Gamma_n^0)^2}{E} \\ & \times \int_0^\infty dE_r \frac{\sqrt{E_r}}{(\Gamma(E_r))^2 + 4(E_r - E_0)^2} \\ & \times \left\{ e^{-\beta(\sqrt{E_r} - \sqrt{E})^2} - e^{-\beta(\sqrt{E_r} + \sqrt{E})^2} \right\} \end{aligned} \quad (6.26)$$



a) Data tapes for GAM code



b) Data tapes for GATHER code

Fig. 6.1 Preparation of data tapes



Table 6.1A Input data for MAKE code

Word	1	2	3	4	5	
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card	Will an old tape be used? 0. = No 1. = Yes	Tape I.D. number (for new tape). Maximum = 32768.0	Number of fission spectra to be input for new tape	Number of fine energy groups (if 99 leave blank or 0.0)	Number of energy points for thermal data tape.	MAKE Code: Makes Fast Section Data Tape
1						
Symbol	FW00	TNB	FNSP			

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-72					
Format	Alphanumeric					
Cards	5 cards for description of tape					
2-6						
Symbol	AT(1), 11, 12					

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24				
Format	Decimal	Decimal				
Card	Number of nuclides to be added to new tape	Number of nuclides to be deleted from old tape				
7						
Symbol	FLAD	FLCH				

Card 8 required only if deleting some nuclides from old tape (word 1, card 1 and word 2, card 7 not 0.)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Tape i.d. number of 1st nuclide deleted	Tape i.d. number of 2nd nuclide deleted.	Tape i.d. number of 3rd nuclide deleted.	Etc.	Etc.	Etc.
8						
Symbol	TAB(1)	TAB(2)	TAB(3)	Etc.	Etc.	Etc.

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-72					
Format	Alphanumeric					
Card	Nuclide Description					
9						
Symbol	SS(1), 1=1, 12					

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36			
Format	Decimal	Decimal	Decimal			
Card	Nuclide i.d. number (Note #1)	Number of resolved resonances	Number of unresolved resonances (Note #2)			
10						
Symbol	SS(13)	SS(14)	SS(15)			

Nuclides must be specified in order of increasing i.d. numbers

Table 6.1A (Continued)

Cases 11 through 14 required only if nuclide has resonances (word 2, card 10 > 0.)

Word	1	2	3	4	5	6	General resonance data.
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card	Mass number	$\sigma_p$ for this absorber (Note #3)	Average statistical factor, g (spin)	Number of resolved resonances	S-factor to determine upper limit of integration (Note #4)	Energy level spacing, D (Note #5)	
Symbol	TTT(1)	TTT(2)	TTT(3)	TTT(4)	TTT(5)	TTT(6)	

Word	1	2	3				Unresolved resonance data  (Note #6)
Column	1-12	13-24	25-36				
Format	Decimal	Decimal	Decimal				
Card	$\langle \Gamma_n^0 \rangle$ For unresolved resonances	$\langle \Gamma_\gamma \rangle$ For unresolved resonances					
Symbol	TTT(7)	TTT(8)	TTT(9)				

Repeat card 13 for each resolved resonance (# of cards = word 2, card 10)

Word	1	2	3	4	5	6	Resolved resonance parameters
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card	Energy of resonance (ev)	$\Gamma_n$ (ev) Neutron width	$\Gamma_\gamma$ (ev) Gamma width	$\Gamma_f$ (ev) Fission width	r-factor to determine mesh size (Note #7)	Statistical factor, g (spin for this resonance)	
Symbol	TTT(10)	TTT(11)	TTT(12)	TTT(13)	TTT(14)	TTT(15)	

Card 14 required if nuclide has unresolved resonances (word 3, card 10 > 0.)

Word	1	2	3	4	5	6	Unresolved resonance energies (number of values = word 3, card 10.)  (Note #2)
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card	Cut-off energy, $E_c$ (ev)	$E_k$ (a fine group boundary such that $E_k > E_c$ )	$E_{k+1}$ (a fine group boundary $E_{k+1} > E_k$ )	Etc.	Etc.	Etc.	
Symbol	TTT(IN)	TTT(IN+1)	TTT(IN+2)	Etc.	Etc.	Etc.	

Cards 15-19 required only if old tape not used (word 1, card 1 = 0.)

Word	1	2	3				
Column	1-12	13-24	25-36				
Format	Decimal	Decimal	Decimal				
Card	Size of slab $P_0$ array (Note # 8)	Size of cylinder $P_0$ array (Note # 9)	Size of J (volume) resonance tables (Note # 10)				
Symbol	BEN(1)	BEN(2)	BEN(3)				

Word	1	2	3	4	5		Slab $P_0$ array
Column	1-6	7-12	13-18	19-24	25-30		
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal		
Card							
Symbol	TTT(J)	TTT(J+1)	Etc.	Etc.	Etc.		

Table 6.1A (Continued)

Word	1	2	3	4	5	
Column	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card						
17						
Symbol						

Cylinder P<sub>0</sub> array

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card						
18						
Symbol	TT(J)	TT(J+1)	Etc.	Etc.	Etc.	

J(volume) table

(IF Card 1, Field 4 ≠ 0.0, Input Cards 19A)

Word	1	2	3			
Column	1-12	13-24				
Format	Decimal	Decimal				
Card	E <sub>1</sub> (ev)	E <sub>2</sub>	Etc.	Fine group energy boundaries given high to low in energy		
19A						
Symbol						

Number of boundaries to equal to number of groups plus one.

Word	1	2	3	4	5	6
Column						
Format						
Card	1st GATHER energy point	2nd GATHER energy point	3rd GATHER energy point	Etc.	Etc.	Etc.
19B						
Symbol	GTHR(1)	GTHR(2)	GTHR(3)	Etc.	Etc.	Etc.

Thermal energy points (increasing energy)  
Number of values = card 1, field 5  
(Note # 11)

Cards 0 and 21 required if old tape not used or if all spectra will be input (ie. not copied from old tape)

Word						
Column	1-72					
Format	Alphanumeric					
Card	Spectrum Description					
20						
Symbol	SS(1), J 1, 13					

Repeat cards 20 and 21 for each spectrum. Number of spectra to be input = word 3, card 1.

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Fission source for energy group 1	Fission source for energy group 2	Fission source for energy group 3	Etc.	Etc.	Etc.
21						
Symbol	SS(13)	SS(14)	SS(15)	Etc.	Etc.	Etc.

Fission source spectrum  
Note #12)

Table 6.1A (Continued)

Repeat cards 22 through 34 for each nuclide being added to new tape (word 1, card 7)

Word						
Column	1-72					
Format	Alphanumeric					
Card						
22	Nuclide Description					
Symbol						

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Tape identification number for nuclide	Number of resolved resonances	Number of unresolved resonances	Total size of P-0 array (also P-1, P-2, and P-3) (Note #13)	Number of groups scattered from (max.=99) (Note #14)	Number of groups scattered into (max.= 100, counting in group term) (Note #15)
Symbol	SS(13)	SS(14)	SS(15)	SS(16)	SS(17)	SS(18)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Total size of the inelastic array	Number of groups scattered from (max.= 99)	Number of groups scattered into (max.= 100, counting in-group term)	Total size of the n,2n array	Number of groups scattered from (max.= 99)	Number of groups scattered into (max.= 100, counting in-group term)
Symbol	SS(19)	SS(20)	SS(21)	SS(22)	SS(23)	SS(24)

Note #16)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Is nuclide fissionable? 0. = No 1. = Yes	Number of one-dimensional arrays (absorption, fission, (n,α), etc.)	Total size of transfer array [P <sub>0</sub> + Inelastic + 2*(n,2n)] (Note #17)	Number of groups scattered from (max.= 99)	Number of groups scattered into (max.= 100)	Number of records on data tape for this nuclide (see note)
Symbol	SS(25)	SS(26)	SS(27)	SS(28)	SS(29)	SS(30)

Number of records = 1 + 1 (if 1-D arrays present) + 6 (if P<sub>0</sub> arrays present) + 1 (if inelastic array) + 1 (if n,2n array) + 1 (if P<sub>0</sub> or inelastic or n,2n) (MIN=2, MAX=11)

Word	1					
Column	1-12					
Format	Decimal					
Card	Mass number (A) for nuclide					
Symbol	SS(31)					

Repeat cards 27 and 28 for each 1-D cross section array (word 2, card 25)

Word	1	2			
Column	1-2	3-22			
Format	I2	Alphanumeric			
Card	1-D Array ID	1-D Array Title			
Symbol	TTT(T), I, IS, 1, IS+4				

Note: 1st array must be absorption. If nuclide fissionable, 2nd array = fission, 3rd array = nu.  
(Note #18)

Table 6.1A (Continued)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Cross section for 1st energy group	Cross section for 2nd energy group	Cross section for 3rd energy group	Etc.	Etc.	Etc.
28						
Symbol	TTT(1B)	TTT(1E:1)	TTT(1B:2)	Etc.	Etc.	Etc.

Cards 29-32 omitted if no P-0, etc. arrays (word 4, card 23 = 0.)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	$\sigma^0_{1 \rightarrow 1}$	$\sigma^0_{1 \rightarrow 2}$	$\sigma^0_{1 \rightarrow 3}$			
29						
Symbol						

Elastic P-0 array  
(Note #19)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format						
Card	$\sigma^1_{1 \rightarrow 1}$	$\sigma^1_{1 \rightarrow 2}$	$\sigma^1_{1 \rightarrow 3}$			
30						
Symbol						

P-1 Elastic Array  
(Note #19)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	$\sigma^2_{1 \rightarrow 1}$	$\sigma^2_{1 \rightarrow 2}$	$\sigma^2_{1 \rightarrow 3}$			
31						
Symbol						

P-2 Array  
(Note #19)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	$\sigma^3_{1 \rightarrow 1}$	$\sigma^3_{1 \rightarrow 2}$	$\sigma^3_{1 \rightarrow 3}$			
32						
Symbol						

P-3 Array  
(Note #19)

Card 33 omitted if no inelastic array (word 1, card 24 = 0)

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	$\sigma^{in}_{1 \rightarrow 1}$	$\sigma^{in}_{1 \rightarrow 2}$	$\sigma^{in}_{1 \rightarrow 3}$			
33						
Symbol						

Inelastic array  
(Note #20)

Table 6.1A (Continued)

Card 34 omitted if no n,2n array (word 4, card 24 = 0.)

Word	1	2	3	4	5	6	n,2n array (Note #20)
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card							
Symbol							
34	$\sigma^{n,2n}_{1 \rightarrow 1}$	$\sigma^{n,2n}_{1 \rightarrow 2}$	$\sigma^{n,2n}_{1 \rightarrow 3}$				

Table 6.1B Set up of input cards for MAKE code

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C,0/CORE 32  
W,0/PAGE 40  
T,2/TIME 5  
P,0/PCH 0

\*GJOB

\*LIEDKP J0051,GGC4MAKE

SELECT RELBIN

FIN

\*RUN

\*TAPE F01,J0051,GGC4MAKE,NEW,000654

Master tape to be produced

\*TAPE F02,J0051,GGC4MST,OLD,001414

Library tape produced by MST code

\*DISK F03

\*DISK F04

\*TAPE F08,J0051,GGC4PNCH,OLD,001321

Output tape of MIXER code

\*DATA

1.0 19/3.1121

1MAKE 1  
MAKE 2  
MAKE 3  
MAKE 4  
MAKE 5  
MAKE 6

NEW

FAST

SHORT

TAPE

NOV,21 1973

9,0

SUS 304 FROM AGN TM-407

54,618

SUS 321 FROM AGN TM-407

54,65800

SUS 347 FROM AGN TM-407

54,68400

SUS 316 FROM AGN TM-407

55,28900

INCONEL FROM AGN TM-407

58,46100

HASTELLOY-X FROM AGN TM-407

58,62700

INCONEX-X FROM AGN TM-407

59,13200

ZRY-4 FROM JAERI-M 4881

91,33690

ZRY-2 FROM JAERI-M 4881

91,34960

MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10  
MAKE 9  
MAKE 10

¥JEND

Table 6.2A Input data for MST code

Word	1	2	3			
Column	1-12	13-24	25-36			
Format	Decimal	Decimal	Decimal			
Card	I.D. number for short data tape (negative = only P-0 and P-1 copied)	Number of nuclides to be placed on short tape	Number of fission spectra to be input (if 0, copy from master)			
Symbol	TNR	FNUK	FNSP			

MST Code: MST makes a short data tape from a master tape.

Word						
Column	1-72					
Format	Alphameric					
Card	5 cards for description of short Fast Section data tape.					
Symbol	AT(I), I=1,50					

Repeat card 7 for each nuclide being placed on short tape

Word	1	2	3	4	5	
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card	ID number of nuclide to be copied	Elastic scatter arrays present? 0. = yes 1. = no	Inelastic array present? 0. = yes 1. = no	n,2n array present? 0. = yes 1. = no	Total transport for array present? 0. = yes 1. = no	
Symbol	TRA(I)	TRT(I,1)	TRT(I,2)	TRT(I,3)	TRT(I,4)	

Number of cards word 2, card 1

Repeat cards 8 and 9 for each spectrum being input (omit cards 8 and 9 if word 3, card 1 = 0.)

Word						
Column	1-72					
Format	Alphameric					
Card	Spectrum Description					
Symbol	SS(J), J=1,3					

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Fission source for fast energy group 1	Fission source for fast energy group 2	Fission source for fast energy group 3	Etc.	Etc.	Etc.
Symbol	SS(13)	SS(14)	SS(15)	Etc.	Etc.	Etc.

Table 6.2B Set up of input cards for MST code

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.O/CORE 32  
W.O/PAGE 40  
T.2/TIME 5  
P.O/PCH 0

\*GJOB  
\*LIEDKP J0051.GGC4MST  
SELECT RELBIN

FIN

\*RUN

\*TAPE F01,J1223,FSTGGC4.OLD.000277

ANL library tape

\*TAPE F02,J0051.GGC4MST.NEW.001414

Working tape to be produced

\*DISK F03

\*DISK F04

\*DATA

1973.11190 45.0

NEW

FAST

SHORT

TAPE

NOV.19 1973

1.00

1.20

3.00

4.00

5.00

5.010

6.00

8.00

11.00

13.00

14.00

15.00

16.00

22.00

24.00

25.00

26.00

27.00

28.00

29.00

40.00

41.0930

42.00

47.00

48.00

49.00

50.00

54.1350

62.1490

64.00

72.00

73.00

74.00

90.2320

91.2330

92.23330

92.2350

92.2380

92.23810

94.2390

94.240

94.24010

94.2410

94.2412

94.2420

¥JEND

MST 1  
MST 2  
MST 3  
MST 4  
MST 5  
MST 6  
H 7  
D  
LI  
BE  
B  
B10  
C  
O  
NA  
AL  
SI  
P  
S  
TI  
CR  
MN  
FE  
CO  
NI  
CU  
ZR  
NB  
MO  
AG  
CD  
IN  
SN  
XE  
SM  
GD  
HF  
TA  
W  
TH  
PA  
U233  
U235  
U238  
U238R  
PU239  
PU240  
PU240R  
PU241  
PU241  
PU242



Table 6.3A Input data for MIXER code

Word							MIXER Code: Prepares cross-section data for compounds or mixtures.
Column	1-72						
Format	Alphanumeric						
Card	Description of compound (mixture) being made						
Symbol	nBA(i), 1=1,13						

Word	1	2					
Column	1-12	13-24					
Format	Decimal	Decimal					
Card	Number of nuclides to be combined	Compound i.d. number for fast data tape					
Symbol	FTP	DIN					

Repeat card 3 for each nuclide in compound (number cards - word 1, card 2)

Word	1	2					Note: Combining fraction is a factor proportional to the density of nuclide in compound.
Column	1-12	13-24					
Format	Decimal	Decimal					
Card	I.D. number of nuclide to be combined	Combining fraction for nuclide					
Symbol							

Table 6.3B Set up of input cards for MIXER code

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.0/CORE 32  
W.2/PAGE 160  
T.3/TIME 15  
P.2/PCH 200

\*GJOB  
\*LIEDKP J0051.GGC4MIXR  
SELECT RELBIN  
FIN  
\*RUN  
\*TAPE F02.J0051.GGC4MST.OLD.001414  
\*DISK F03  
\*DISK F04  
\*TAPE F08.J0051.GGC4PNCH.NEW.001321  
\*PUNCH  
\*DATA

Working tape produced by MST code

Data tape to be utilized in MAKE code

SUS 304	FROM AGN TM-407			SUS304 2
6.0	54.618	1		C 31
6.0	0.0036			SI 32
14.0	0.0195			CR 33
24.0	0.1995			MN 34
25.0	0.0199			FE 35
26.0	0.6691			NI 36
28.0	0.0884			MIXER 1
SUS 321	FROM AGN TM-407			SUS321 2
6.0	54.65800	1		C 3
6.0	0.0036			SI 3
14.0	0.0195			CR 3
24.0	0.1892			MN 3
25.0	0.0199			FE 3
26.0	0.6794			NI 3
28.0	0.0884			MIXER 1
SUS 347	FROM AGN TM-407			SUS347 2
6.0	54.68400	1		C 3
6.0	0.0036			SI 3
14.0	0.0195			CR 3
24.0	0.1893			MN 3
25.0	0.0199			FE 3
26.0	0.6699			NI 3
28.0	0.0978			MIXER 1
SUS 316	FROM AGN TM-407			SUS316 2
7.0	55.28900	1		C 3
6.0	0.0046			SI 3
14.0	0.0197			CR 3
24.0	0.1807			MN 3
25.0	0.0201			FE 3
26.0	0.6474			NI 3
28.0	0.1130			MO 3
42.0	0.0145			MIXER 1
INCONEL	FROM AGN TM-407			INCO 2
3.0	58.46100	1		CR 3
24.0	0.1836			FE 3
26.0	0.0994			NI 3
28.0	0.7170			MIXER 1
HASTELLOY-x	FROM AGN TM-407			

Table 6.3B (Continued)

		.....1.....*	.....2.....*	.....3.....*	.....4.....*	.....5.....*	.....6.....*	.....7.....*	.....8
7.0	58.62700								HAST-x 2
24.0	0.2522								CR 3
25.0	0.0080								MN 3
26.0	0.1933								FE 3
27.0	0.0129								CO 3
28.0	0.4793								NI 3
42.0	0.0533								MO 3
74.0	0.0010								* 3
INCONEL-x	FROM AGN TM-407								MIXER 1
6.0	59.1320								INCO-x 2
13.0	0.0153								AL 3
24.0	0.1762								CR 3
26.0	0.0741								FE 3
27.0	0.0050								CO 3
28.0	0.7233								NI 3
41.0930	0.0061								NI08 3
ZRY-4	FROM JAERI-M 4881								MIXER 1
4.0	91.33690								ZRY-4 2
24.0	0.0018								CR 3
26.0	0.0034								FE 3
40.0	0.9836								ZR 3
50.0	0.0112								SN 3
ZRY-2	FROM JAERI-M 4881								MIXER 1
5.0	91.34960								ZRY-2 2
24.0	0.0018								CR 3
26.0	0.0026								FE 3
28.0	0.0009								NI 3
40.0	0.9830								ZR 3
50.0	0.0117								SN 3
¥JEND									

Table 6.4A Input data for FPRINT code

Word							FPRINT Code: Prints data from tape.
Column	1-24						
Format	Alphanumeric						
Card	Page heading information						
1							
Symbol	B(I),I=1,...						

Word	1	2					
Column	1-12	13-24					
Format	Decimal	Decimal					
Card	Number of nuclides to be printed (0. = print whole tape)	Print total transfer arrays 0. = yes 1. = no					
2							
Symbol	FTP	FPT					

Omit card 3 if whole tape being printed (word 1, card 2 = 0.)

Word	1	2	3	4	5	6	Nuclide i.d. numbers (must be in ascending order)
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	
Card	I.D. number of 1st nuclide to be printed	I.D. number of 2nd nuclide to be printed	I.D. number of 3rd nuclide to be printed	Etc.	Etc.	Etc.	
Symbol	FPT(1)	FPT(2)	FPT(3)	Etc.	Etc.	Etc.	

Table 6.4B Set up of input cards for FPRINT code

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.O/CORE 32  
W.O/PAGE 40  
T.O/TIME 1  
P.O/PCH 0

\*GJOB  
\*LIEDKP J0051.GGC4FPRT  
SELECT RELBIN  
FIN  
\*RUN  
\*DISK F03  
\*TAPE F01,J0051.GGC4MAKE.OLD.000654  
\*DATA  
FAST DATA LISTING  
1.0 1.0  
92.235  
¥JEND

Master data tape produced by MAKE code

Table 6.5A Input data for WTEG code

Word	1	2	3		
Column	12	22-24	34-36		
Format	Integer	Integer	Integer		
Card	Tape options: *) 0 = New tape from old, same label 1 = New tape from cards 2 = New tape from old, new label 3 = Add nuclides to old tape	If word 1=3, specify number of nuclides to be saved on old tape.	If word 1=3, specify number of nuclides to be added to old tape.		
Symbol	NEWT	NON	MORE		

Warning: If data added to old tape (word 1=3), this tape cannot be used by GGC.  
\*) Making a new tape - Adding MORE data to old tape

If old tape mounted (card 1, word 1 ≠ 1), card 2 is required

Word					
Column	1-72				
Format	Alphanumeric				
Card	Exact label on old data tape  (Note #1)				
Symbol	LAB(1), 1, 1, 1, 1				

If adding data to end of old data tape (card 1, word 1=3), skip to card 7.

If making new tape with new label (card 1, word 1=1 or 2), card 3 is required.

Word					
Column	1-72				
Format	Alphanumeric				
Card	Label for new data tape.				
Symbol	LAB(1), 1, 1, 1, 1				

Word	1	2	3		
Column	12	24	36		
Format	Integer	Integer	Integer		
Card	Number of new nuclides. (For new tape, total number of nuclides to be input.)	Number of nuclides on old tape being altered or replaced for new tape.	Number of nuclides on old tape not wanted on new tape.		
Symbol	NADD	NCHG	NSUB		

Words 2 and 3 are ignored if making an entirely new tape (card 1, word 1=1).

For entirely new tape (card 1, word 1=1), cards 5 and 6 are required.

Word	1				
Column	10-12				
Format	Integer				
Card	Number of energy points (≤ 141)				
Symbol	NRG				

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Energy of point 1, ev (lowest energy value)	Energy of point 2, ev	Energy of point 3, ev	Energy of point 4, ev	Energy of point 5, ev	Energy of point 6, ev
Symbol	E(1)	E(2)	E(3)	E(4)	E(5)	E(6)

Table 6.5A (Continued)

Word	1	2	3		
Column	1-12	13-24	25-36		
Format	Decimal	Decimal	Decimal		
Card	Nuclide ID number (any value 0.0 thru 999.999999)	0.= new nuclide data on cards 1.= part of data being changed 2.= data on tape 3 3.= data on tape 2 (Note #2) 4.= data on tape 4 5.= delete this nuclide	Print some or all of data for this nuclide? 0.= No 1.= Yes		
Symbol	TIDA	OPT	FOP		

Note: Tapes 2 and 4 are labeled, standard data tapes. Tape 3 is non-labeled, non-standard data tape.  
0 = No  
1 = Yes

A. If nuclide being deleted (word 2=5.0) or copied from a tape (word 2=2.0,3.0 or 4.0), then no further data is required for this nuclide, unless printing of copied nuclide desired (word 3=1.0). For print operations, input card 32.  
B. If part of data for this nuclide being changed (word 2=1.0), skip to card 25.

Word	1	2	3		
Column	1-72				
Format	Alphanumeric				
Card	Nuclide Description				
Symbol	NA(1)				

C. If new nuclide data being input (card 7, word 2=0.), cards 8 and 9 are required.

Word	1	2	3		
Column	12	13-24	25-36		
Format	Integer	Decimal	Decimal		
Card	Absorption type index: 0 = 1/v abs. 1 = non 1/v absorption	For 1/v type, base energy E <sub>0</sub> for 1/v	For 1/v type, absorption cross section at E <sub>0</sub> (base energy)		
Symbol	NABS	EO	SAO		

(Note #3)

If non 1/v absorption (card 9, word 1=1), card 10 required.

Word	1	2	3	4	5	6
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72
Format	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal
Card	Absorption (or capture) cross section, in barns, for 1st (lowest) energy point.	Absorption (or capture) cross section, in barns, for 2nd energy point	Etc.	Etc.	Etc.	Etc.
Symbol	SA(1)	SA(2)	SA(3)	SA(4)	Etc.	Etc.

Note: For fissionable nuclide, on card 11, word 1 specify ± 2 if capture is input or ± 1 for total absorption.

Word	1	2	3	4		
Column	11-12	24	36	48		
Format	Integer	Integer	Integer	Integer		
Card	Fission index: 0 = no fission +1 = non 1/v +2 = 1/v to be added to capture	Resonance parameters input for this nuclide? 0 = no 1 = yes (Note #4)	Scattering kernel for this nuclide? 0 = no 1 = yes	Kernel type: 0 = downscatter kernel input on cards. (Note #5) 1 = free-gas kernel to be computed		
Symbol	NFIS	NRES	KERN	KCAIC		

If nuclide has scattering kernel (card 11, word 3=1), skip to card 15  
For nuclide without kernel (card 11, word 3=0), card 12 (and maybe 13 and 14) required.

Word	1	2	3		
Column	12	13-24	25-36		
Format	Integer	Decimal	Decimal		
Card	Scattering for non-kernel nuclide: 0 = constant 1 = input as function of energy	Transport option: 0.= input σ <sub>tr</sub> Otherwise, compute σ <sub>tr</sub> using E or μ (see note #6)	Constant value for scattering x-sections, in barns (if word 1 = 0)		
Symbol	SCCAP	TRAN	SSO		

Note: If σ<sub>tr</sub> computed,  
σ<sub>tr</sub> = σ<sub>a</sub> + (1-β)σ<sub>s</sub>  
where β is input (0.< word 2 < 1.0) or β =  $1 - \frac{2}{3\bar{\mu}}$   
(β' > 1.0 in word 2)

Table 6.5A (Continued)

If scattering input for each energy (card 12, word 1 = 1), card 13 is required.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1 - 12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 13	Scattering x-section barns. for 1st (lowest) energy point	Scattering x-section for 2nd energy point	Scattering x-section for 3rd energy point	etc.	etc.	etc.	$\sigma_{sc}(E)$
SYMBOL	SSC(1)	SSC(2)	SSC(3)	etc.	etc.	etc.	

If transport cross-section input (card 12, word 2 = 0), card 14 is required.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1 - 12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 14	Transport x-section barns. for 1st (lowest) energy point.	Transport x-section for 2nd energy point	Transport x-section for 3rd energy point	etc.	etc.	etc.	$\sigma_{tr}(E)$
SYMBOL	STR(1)	STR(2)	STR(3)	etc.	etc.	etc.	

for fissionable nuclides (card 11, word 1 ≠ 0), cards 15 and 16 are required.

WORD	1	2	3				
COLUMN	1 - 12	13-24	25 - 36				
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.				
CARD 15	Value of $\nu$ (neutrons per fission)  (Note #7)	Base energy, $E_0$ (ev), for $1/\nu$ fission fission x-section	$1/\nu$ fission x-section (barns) at base energy				$\nu, E_0, \sigma_{f,0}$
SYMBOL	YNU	EO	SFO				

For nuclide with non- $1/\nu$  fission cross-section (card 11, word 1 > 0), card 16 is required.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25 - 36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 16	Fission x-section (barns) for 1st (lowest) energy point.	Fission x-section for 2nd energy point	Fission x-section for 3rd energy point	etc.	etc.	etc.	$\sigma_{f,i}$
SYMBOL	SF(1)	SF(2)	SF(3)	etc.	etc.	etc.	

Table 6.5A ( Continued )

If resonance parameters to be input (card 11, word 2 = 1), cards 17 and 18 are required.

WORD	1	2	3	4			
COLUMN	11-12	13-24	25-36	37-48			
FORMAT	Integer	Decimal	Dec.	Dec.			
CARD 17	Number of resonances for which parameters will be input (max. = 10)	Statistical factor (constant for all resonances)	Mass of absorbing nucleus	Potential scattering x-section (barns) $\sigma_p$			
SYMBOL	NEZ	SPIN	WGT	SPOT			

Repeat card 19 for each resonance (no. of cards = card 17, word 1)

WORD	1	2	3				
COLUMN	1-12	13-24	25-36				
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.				
CARD 18	Resonance Energy $E_0(\text{ev})$	Neutron Width, $\Gamma_n(\text{mv})$	Gamma Width, $\Gamma_\gamma(\text{mv})$				u 10 #4
SYMBOL	EZ(I)	CN(I)	GG(I)				

For nuclide without kernel (card 11, word 3=0), skip to card 32.

WORD	1	2	3	4			
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48			
FORMAT	Decimal	Decimal	Decimal	Decimal			
CARD 19	Free-atom scattering x-section (barns) (Note #8) $\sigma_{fa}$	Kernel Temperature ( $^{\circ}\text{K}$ ) "	Scattering atom mass "	Source option: 0. = 1/E source -1. = $P_0$ and $P_1$ sources set to zero. +1. = bound source calculation for hydrogen. (Note #9)			
SYMBOL	SFA	TEMP	ATMAS	BSORC			

If free gas kernel calculation specified (card 11, word 4=1), skip to card 31.

WORD	1	2	3				
COLUMN	10-12	13-24	36				
FORMAT	Integer	Decimal	Integer				
CARD 20	Number of last (highest) energy point at which input kernel was calculated (See Note #10)	Temperature ( $^{\circ}\text{K}$ ) for free-gas downscatter calculation (if necessary) (Note #11)	Supply separate elastic $P_0$ and $P_1$ self-scattering terms? 0 = yes 1 = no (Note #12)				
SYMBOL	LIM	TCAS	NELAST				



Table 6.5A ( Continued )

If separate elastic  $P_0$  and  $P_1$  scattering terms input (card 20, word 3 = 0), cards 21 and 22 are required.

WORD	1	2	3	4	5	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 21	Normalized $P_0$ elastic self-scattering term for 1st (lowest) energy point	Normalized $P_0$ elastic self-scattering term for 2nd energy point	etc.	etc.	etc.	Input 5 values per card. No. of values = card 20, word 1. (Note #13)
SYMBOL	SD0(1)	SD0(2)	SD0(3)	etc.	etc.	

WORD	1	2	3	4	5	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 22	Normalized $P_1$ elastic self-scattering term for 1st (lowest) energy point	Normalized $P_1$ elastic self-scattering term for 2nd energy point	etc.	etc.	etc.	Input 5 values per card. Number of values = card 20, word 1. (Note #13)
SYMBOL	SD1(1)	SD1(2)	SD1(3)	etc.	etc.	

WORD	1	2	3	4	5	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 23	$P_0$ down-scatter kernel matrix $\begin{pmatrix} \sigma_{1-1}^0 \\ \sigma_{2-1}^0 \\ \sigma_{3-1}^0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \sigma_{2-1}^0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \sigma_{2-2}^0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \sigma_{3-1}^0 \end{pmatrix}$	etc.	Input 5 values per card. Number of values = LIM(LIM+1) where LIM = card 20, word 1 (Note #14)
SYMBOL	SO(I,I)	SO(I+1,I)	SO(I+1,I+1)	SO(I+2,I)	etc.	

WORD	1	2	3	4	5	Note
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD 24	$P_1$ down-scatter kernel matrix $\begin{pmatrix} \sigma_{1-1}^1 \\ \sigma_{2-1}^1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \sigma_{2-1}^1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \sigma_{2-2}^1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \sigma_{3-1}^1 \end{pmatrix}$	etc.	Input 5 values per card. Number of cards same as for card 23. (Note #14)
SYMBOL	S1(I,I)	S1(I+1,I)	S1(I+1,I+1)	S1(I+2,I)	etc.	

Kernel data complete. Skip to card 31.

Table 6.5A ( Continued )

For nuclide with part of data changed (card 7, word 2 1,0), card 25 (and maybe 26-29) required.

WORD	1	2	3	4	5	6	Note	
COLUMN	12	24	36	48	60	72		
FORMAT	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		
CARD	Change ID No. and nuclide description? 0 = No 1 = ID number only 2 = description only 3 = change both	Change absorption x-section? 0 = No 1 = new 1/v x-sections 2 = new total absorption 3 = new capture x-sections	Change scattering x-sections? 0 = No 1 = New constant scattering x-section 2 = new point-wise x-section	(See note) Change fission data? 0 = No 1 = New $\nu$ 2 = New $\nu$ and $\sigma_f$ input 1,2, or 3 = new $\sigma_f$ ( $\nu$ unchanged)	Change resonance parameters? 0 = No 1 = New resonance parameters (need not have been present previously)	Change kernel data? 0 = No 1 = free-gas calculation 2 = input kernel 3 = recalculate source terms	Fission Index 0 -5 -4 1 2 3	X-sections Changes None $\nu$ $\sigma_f$ cap $\sigma_f$ a $\sigma_f$ a
SYMBOL	NTIF	NSA	NSC	NF	NRG	NCHGK	For 2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> new cap	

If nuclide I.D. number being changed (card 25, word 1=1 or 3), card 26 is required.

WORD	1		
COLUMN	1-12		
FORMAT	Decimal		
CARD	New I.D. number for this nuclide (must not alter position of nuclide on tape)		
SYMBOL	TIDPR		

If nuclide description being changed (card 25, word 1 = 2 or 3), card 27 is required.

WORD			
COLUMN	1-72		
FORMAT	Alphanumeric		
CARD	New Nuclide Description		
SYMBOL	CNAME(1), 1,1,1		

If new absorption or capture cross sections to be input (card 25, word 2 = 2 or 3), supply data as specified on card 10. Then skip to card 29.

If new 1/v absorption data to be input (card 25, word 2 = 1), card 28 is required.

WORD	1	2	
COLUMN	1 - 12	13-24	
FORMAT	Decimal	Dec.	
CARD	Base energy $E_0$ (ev), for new 1/v absorption x-section	New 1/v absorption (barns) at base energy	
SYMBOL	EO	SAO	

Table 6.5A ( Continued )

If new pointwise scattering x-section to be input (card 25, word 3 = 2), supply as specified on card 13.  
 If new constant scattering x-section to be input (card 25, word 3 = 1), card 29 is required.

WORD	1						
COLUMN	1-12						
FORMAT	Decimal						
CARD	New constant scattering x-section (barns)						
29							
SYMBOL	SC0						

If scattering x-section data changed (card 25, word 3 = 1 or 2), card 30 is required.

WORD	1						Note
COLUMN	1-12						
FORMAT	Decimal						
CARD	Transport option: 0 = input $\sigma_{tr}$ Otherwise, compute $\sigma_{tr}$ using $\bar{\mu}$ or $\bar{\mu}'$						Input $\bar{\mu}$ or $\bar{\mu}'$ as described on card 12.
30							
SYMBOL	UBAR						

If transport x-section input (card 30, word 1 = 0), supply data as specified on card 14.

If bound source calculation for Hydrogen specified (card 19, word 4 = 1.0), card 31 is required.

WORD	1						Note
COLUMN	1-12						
FORMAT	Decimal						
CARD	$\bar{E}$ , 2/3 of average kinetic energy of bound hydrogen atom (Note #9)						Recommended for: H <sub>2</sub> O use 0.117 ZrH use 0.065 $\bar{E}$ = room temperature
31							
SYMBOL	EBAR						

If printing of nuclide data desired (card 7, word 3 = 1.0), card 32 is required.

WORD	1	2	3				
COLUMN	12	24	36				
FORMAT	Integer	Int.	Int.				
CARD	Print standard microscopic x-sections: 0 = No 1 = Yes	Print resonance parameters data: 0 = No 1 = Yes	Print kernel data 0 = No 1 = Yes				
32							
SYMBOL	NSTD	NR	NK				

If more nuclides are to be input, start with card 7.

Table 6.5B Set up of input cards for WTFG code

.....1.....4.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

\*NO

C.1/CORE 64  
 W.U/PAGE 40  
 T.2/TIMS 5  
 P.0/PCH 0

\*GJOB

\*LIEDKP J0051.GGC4WTFG

SELECT RELBIN

FIN

\*RUN

\*TAPE F01,J0051.GGC4WTFG,NEW,001520

Master tape to be produced

\*DISK F02

\*DISK F03

\*DISK F04

\*TAPE F08,J0051.GGC4MGT,OLD,001415

Working tape produced by MGT code

\*DISK F10,TRK=300

\*DATA

2  
 NEW THERMAL SHORT TAPE NOV.19 1973 #FTG 1  
 NEW THERMAL SHORT TAPE JAN.15 1975 2

9  
 54,61800 0.0 1.0 S304 7

SUS 304 FROM AGN TM-407 NAME  
 NABS

1  
 1,53669E 01 1,08660E 01 7,68547E 00 6,87229E 00 5,60815E 00 5,43302E 00S304 A 1  
 4,85944E 00 3,96772E 00 3,43615E 00 3,09511E 00 2,80560E 00 2,42972E 00S304 A 2  
 2,17321E 00 1,98366E 00 1,90603E 00 1,83670E 00 1,77442E 00 1,71807E 00S304 A 3  
 1,66678E 00 1,61981E 00 1,57661E 00 1,53669E 00 1,40290E 00 1,29874E 00S304 A 4  
 1,21486E 00 1,14538E 00 1,08660E 00 1,03604E 00 1,01326E 00 9,91930E-01S304 A 5  
 9,71889E-01 9,53015E-01 9,35200E-01 9,16349E-01 9,02376E-01 8,87209E-01S304 A 6  
 8,72782E-01 8,59036E-01 8,45921E-01 8,33338E-01 8,21396E-01 8,09907E-01S304 A 7  
 7,88306E-01 7,55242E-01 7,49828E-01 7,41058E-01 7,24403E-01 7,16486E-01S304 A 8  
 7,08823E-01 7,05082E-01 7,01400E-01 6,94206E-01 6,87229E-01 6,66240E-01S304 A 9  
 6,55247E-01 6,40844E-01 6,32645E-01 6,27351E-01 6,14676E-01 6,02740E-01S304 A10  
 5,87998E-01 5,80315E-01 5,61120E-01 5,43302E-01 5,27081E-01 5,19200E-01S304 A11  
 5,15100E-01 5,07408E-01 5,03901E-01 4,95568E-01 4,93402E-01 4,90878E-01S304 A12  
 4,88392E-01 4,85944E-01 4,79582E-01 4,74233E-01 4,71991E-01 4,69780E-01S304 A13  
 4,67600E-01 4,65450E-01 4,61236E-01 4,58153E-01 4,57138E-01 4,53145E-01S304 A14  
 4,43604E-01 4,34642E-01 4,26201E-01 4,18234E-01 4,04954E-01 3,96772E-01S304 A15  
 3,84173E-01 3,72702E-01 3,64231E-01 3,56512E-01 3,52541E-01 3,43615E-01S304 A16  
 3,35333E-01 3,27624E-01 3,21121E-01 3,18353E-01 3,14991E-01 S304 A17

0 0 0 NFI5

1 NSCAT  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 1  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 2  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 3  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 4  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 5  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 6  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 7  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 8  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S 9  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S10  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S11  
 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00 9,61867E 00S304 S12

Table 6.5B (Continued)

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....5.....\*.....7.....\*.....8

9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00S304	S13
9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00S304	S14
9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00S304	S15
9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00S304	S16
9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00	9.61867E	00		S304	S17
2.48707E	01	2.03699E	01	1.71873E	01	1.63761E	01	1.53120E	01	1.49368E	01	1.49368E	01S304	T 1
1.43633E	01	1.34715E	01	1.29409E	01	1.25589E	01	1.23094E	01	1.19335E	01	1.19335E	01S304	T 2
1.16770E	01	1.14877E	01	1.14098E	01	1.13405E	01	1.12782E	01	1.12219E	01	1.12219E	01S304	T 3
1.11706E	01	1.11236E	01	1.10807E	01	1.10405E	01	1.09066E	01	1.08026E	01	1.08026E	01S304	T 4
1.07187E	01	1.06492E	01	1.05904E	01	1.05399E	01	1.05171E	01	1.04957E	01	1.04957E	01S304	T 5
1.04757E	01	1.04569E	01	1.04390E	01	1.04222E	01	1.04062E	01	1.03910E	01	1.03910E	01S304	T 6
1.03766E	01	1.03629E	01	1.03497E	01	1.03372E	01	1.03252E	01	1.03137E	01	1.03137E	01S304	T 7
1.02921E	01	1.02591E	01	1.02536E	01	1.02449E	01	1.02282E	01	1.02203E	01	1.02203E	01S304	T 8
1.02126E	01	1.02089E	01	1.02052E	01	1.01980E	01	1.01910E	01	1.01701E	01	1.01701E	01S304	T 9
1.01591E	01	1.01447E	01	1.01365E	01	1.01312E	01	1.01185E	01	1.01066E	01	1.01066E	01S304	T10
1.00918E	01	1.00846E	01	1.00649E	01	1.00471E	01	1.00309E	01	1.00230E	01	1.00230E	01S304	T11
1.00189E	01	1.00132E	01	1.00077E	01	1.00024E	01	9.99722E	00	9.99470E	00	9.99470E	00S304	T12
9.99221E	00	9.98976E	00	9.98380E	00	9.97805E	00	9.97581E	00	9.97360E	00	9.97360E	00S304	T13
9.97142E	00	9.96927E	00	9.96506E	00	9.96197E	00	9.96096E	00	9.95696E	00	9.95696E	00S304	T14
9.94742E	00	9.93846E	00	9.93002E	00	9.92205E	00	9.90877E	00	9.90059E	00	9.90059E	00S304	T15
9.88799E	00	9.87652E	00	9.86809E	00	9.86013E	00	9.85636E	00	9.84743E	00	9.84743E	00S304	T16
9.83915E	00	9.83144E	00	9.82494E	00	9.82217E	00	9.81881E	00				S304	T17
	1	0	0	1										32
	54.65800	0.0	1.0										SUS321	7
SUS 321	FROM AGN	TM-407											NAME	
	1												NABS	
1.53410E	01	1.08478E	01	7.67052E	00	6.86072E	00	5.79837E	00	5.42388E	00	5.42388E	00S321	A 1
4.85126E	00	3.96104E	00	3.43036E	00	3.04996E	00	2.80088E	00	2.42563E	00	2.42563E	00S321	A 2
2.16955E	00	1.98052E	00	1.90262E	00	1.83361E	00	1.77143E	00	1.71518E	00	1.71518E	00S321	A 3
1.66397E	00	1.61709E	00	1.57396E	00	1.53410E	00	1.40044E	00	1.29656E	00	1.29656E	00S321	A 4
1.21282E	00	1.14345E	00	1.08478E	00	1.03429E	00	1.01156E	00	9.90260E-01	00	9.90260E-01	00S321	A 5
9.70253E-01	9.51411E-01	9.51411E-01	9.33626E-01	9.33626E-01	9.15803E-01	9.15803E-01	9.00857E-01	8.85716E-01	8.85716E-01	8.65444E-01	8.65444E-01	8.65444E-01	01S321	A 6
8.71313E-01	8.57591E-01	8.57591E-01	8.44497E-01	8.44497E-01	8.31985E-01	8.31985E-01	8.20013E-01	8.06544E-01	8.06544E-01	7.90013E-01	7.90013E-01	7.90013E-01	01S321	A 7
7.86979E-01	7.53971E-01	7.53971E-01	7.48566E-01	7.48566E-01	7.39811E-01	7.39811E-01	7.23184E-01	7.15280E-01	7.15280E-01	7.00013E-01	7.00013E-01	7.00013E-01	01S321	A 8
7.07630E-01	7.03895E-01	7.03895E-01	7.00220E-01	7.00220E-01	6.93038E-01	6.93038E-01	6.86072E-01	6.65119E-01	6.65119E-01	6.51199E-01	6.51199E-01	6.51199E-01	01S321	A 9
6.54144E-01	6.39766E-01	6.39766E-01	6.31581E-01	6.31581E-01	6.26296E-01	6.26296E-01	6.13642E-01	6.01725E-01	6.01725E-01	5.85716E-01	5.85716E-01	5.85716E-01	01S321	A10
5.87009E-01	5.79837E-01	5.79837E-01	5.60176E-01	5.60176E-01	5.42588E-01	5.42588E-01	5.26194E-01	5.18326E-01	5.18326E-01	5.00013E-01	5.00013E-01	5.00013E-01	01S321	A11
5.14233E-01	5.08551E-01	5.08551E-01	5.03053E-01	5.03053E-01	4.97729E-01	4.97729E-01	4.92571E-01	4.90052E-01	4.90052E-01	4.79174E-01	4.79174E-01	4.79174E-01	01S321	A12
4.87570E-01	4.85126E-01	4.85126E-01	4.79174E-01	4.79174E-01	4.73435E-01	4.73435E-01	4.71196E-01	4.68989E-01	4.68989E-01	4.57382E-01	4.57382E-01	4.57382E-01	01S321	A13
4.66813E-01	4.64667E-01	4.64667E-01	4.60462E-01	4.60462E-01	4.57382E-01	4.57382E-01	4.56369E-01	4.52383E-01	4.52383E-01	4.42588E-01	4.42588E-01	4.42588E-01	01S321	A14
4.42858E-01	4.33910E-01	4.33910E-01	4.25484E-01	4.25484E-01	4.17530E-01	4.17530E-01	4.04272E-01	3.96104E-01	3.96104E-01	3.83526E-01	3.83526E-01	3.83526E-01	01S321	A15
3.83526E-01	3.72075E-01	3.72075E-01	3.63618E-01	3.63618E-01	3.55712E-01	3.55712E-01	3.51948E-01	3.43036E-01	3.43036E-01	3.34769E-01	3.34769E-01	3.34769E-01	01S321	A16
3.34769E-01	3.27072E-01	3.27072E-01	3.20581E-01	3.20581E-01	3.17817E-01	3.17817E-01	3.14461E-01						S321	A17
	0	0	0	0									NFIS	
	1												NSCAT	
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 1
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 2
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 3
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 4
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 5
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 6
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 7
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 8
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S 9
9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00	9.70042E	00S321	S10

(the rest is omitted)

Table 6.6A Input data for MGT code

Word		MGT Code: Makes short data tape from master tape.
Column	1-72	
Format	Alphanumeric	
Card 1	Label for short tape	
Symbol	TLABEL(I), I=1, 10	
Word	1	
Column	10-12	
Format	Integer	
Card 2	Number of nuclides to be placed on short tape.	
Symbol		
Word	1	Repeat card 3 for each nuclide on short tape being made
Column	1-12	
Format	Decimal	
Card 3	Nuclide I.D. number (as written on master tape)	
Symbol	TIDA	

Table 6.6B Set up of input cards for MGT code

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

YNO

C,1/CORE 64  
 W,0/PAGE 40  
 T,2/TIM5 5  
 P,0/PCH 0

\*GJOB

\*LIEDKP J0051,GGC4MGT

SELECT RELBIN

FIN

\*RUN

\*TAPE F01,J0051,GC4THERM,OLD,000437

ANL library tape

\*TAPE F02,J0051,GGC4MGT,NEW,001415

Working tape to be produced

\*DISK F03

\*DATA

NEW THERMAL SHORT TAPE NOV,19 1973

MGT 1  
 2  
 3

- 66
- 1,003021
- 1,003030
- 1,003041
- 1,003421
- 1,003721
- 1,004721
- 1,005821
- 1,005920
- 1,012010
- 1,203020
- 3,00
- 4,003010
- 4,003020
- 4,012010
- 5,00
- 5,010
- 6,003020
- 6,004020
- 6,006020
- 6,009020
- 6,012020
- 6,01500
- 6,01800
- 8,003010
- 8,005890
- 8,012010
- 11,00000
- 12,00000
- 13,00000
- 14,00000
- 15,00000
- 16,00000
- 22,00000
- 24,00000
- 25,00000
- 26,00000
- 27,00000
- 28,00000
- 29,00000

MGT

MGT

Table 6.6B (Continued)

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

40,00000  
 41,09300  
 42,00000  
 47,10900  
 48,00000  
 49,00000  
 50,00000  
 54,13500  
 62,14900  
 64,00000  
 72,00000  
 73,00000  
 74,00000  
 90,23200  
 91,23300  
 92,23300  
 92,23330  
 92,23500  
 92,23800  
 94,23900  
 94,24000  
 94,24100  
 94,24120  
 94,24200  
 201.0  
 202.0  
 203.0  
 ¥JEND

MGT



Table 6.7A Input data for COMBIN code

Word	1	2					<b>COMBIN Code:</b> Prepares cross-section data for combinations of nuclides. Card 1 Input Card 2 Input Card 3 Input Card 4 Input Card 5 Input
Column	10-12	24					
Format	Integer	Integer					
Card	Number of mixtures to be created (no limit)	Place mixtures on new Thermal Section data tape? 0 = No 1 = Yes					
Symbol	NMIX	NEWT					

If mixtures being placed on new data tape (card 1, word 2 = 1), input card 2

Word							
Column	1-72						
Format	Alphanumeric						
Card	Label to be written on new data tape						
Symbol	NAME(1),1,1,12						

Cards 3 through 5 are required for each mixture

Word	1	2	3	4	5		
Column	1-12	13-16	34-36	48	60		
Format	Decimal	Alphanumeric	Integer	Integer	Integer		
Card	I.D. number for mixture	Identification for punched cards	Number of nuclides in this mixture (no limit)	Punch mixture data for WTPG? 0 = No 1 = Yes	Print mixture data? 0 = No 1 = Yes		
Symbol	CID	CBID	NUCL	NPUNCH	NPRINT		

Word							
Column	1-72						
Format	Alphanumeric						
Card	Mixture Description						
Symbol	NAME(1),1,1,12						

Word	1	2					
Column	1-12	13-24					
Format	Decimal	Decimal					
Card	Nuclide I.D. number on old data tape	Combining factor Atomic density Fraction					
Symbol	TIDA	FRACT					

Table 6.7B Set up of input cards for COMBIN code

.....1.....\*.....2.....#.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.O/CORE 32  
W.O/PAGE 40  
T.1/TIME 2  
P.3/PCH 1000

\*GJOB  
\*LIEDKF J0051.66C4COMB  
SELECT RELBIN  
\*FIN  
\*RUN  
\*TAPE F02.J0051.66C4MGT.OLD.001415  
\*DISK F03  
\*PUNCH OUT=200  
\*DATA

Working tape produced by MGT code

54.616005304	5	1	1	COMBIN 1
SUS 304 FROM AGN TM-407				S304 3
14.0 0.0196				4
24.0 0.2002				
25.0 0.0200				
26.0 0.6715				
28.0 0.0887				
54.658005321	5	1	1	SUS32
SUS 321 FROM AGN TM-407				
14.0 0.0196				
24.0 0.1899				
25.0 0.0200				
26.0 0.6819				
28.0 0.0886				
54.6840005347	5	1	1	SUS347
SUS 347 FROM AGN TM-407				
14.0 0.0196				
24.0 0.1900				
25.0 0.0200				
26.0 0.6723				
28.0 0.0981				
55.289005316	6	1	1	SUS3 b
SUS 316 FROM AGN TM-407				
14.0 0.0196				
24.0 0.1815				
25.0 0.0202				
26.0 0.6504				
28.0 0.1135				
42.0 0.0146				
56.46100INCO	3	1	1	INCON
INCONEC FROM AGN TM-407				
24.0 0.1636				
26.0 0.0994				
28.0 0.7170				
56.62700HASA	7	1	1	INCON-X
HASTELLOY-X FROM AGN TM-407				HASTE -X
24.0 0.2522				
25.0 0.0080				
26.0 0.1933				
27.0 0.0129				
28.0 0.4793				
42.0 0.0533				
74.0 0.0010				
59.13200INCX	6	1	1	INCON -X
INCONEC-X FROM AGN TM-407				
13.0 0.0153				
24.0 0.1762				
26.0 0.0741				
27.0 0.0050				
28.0 0.7233				
41.0930 0.0061				
91.33690ZRY4	4	1	1	ZRY-4
ZRY-4 FROM JAERI-M 4881				
24.0 0.0018				
26.0 0.0034				
40.0 0.9836				
50.0 0.0112				
91.34960ZRY2	5	1	1	ZRY-2 3
ZRY-2 FROM JAERI-M 4881				4
24.0 0.0018				5
26.0 0.0026				
28.0 0.0009				
40.0 0.9830				
50.0 0.0117				

¥JEND

Table 6.8A Input data for SPRINT code

Word							SPRINT Code: Prints data tape
Column	1-72						
Format	Alphanumeric						
Card	GATHER Data Tape Label (must match label on tape exactly)						
Symbol	@LD(I), I=1,12						

Word	1	2	3				
Column	12	20-24	36				
Format	Integer	Integer	Integer				
Card	Data printed: 0 = all data 1 = for spec. nuclides 2 = all absor- bers 3 = all kernels	Number of nuc- lides to be printed (if word 1=1)	Print option: 0 = on standard output unit 1 = special tape (unit 9)				
Symbol	SPRINT	MAT	NK				

If printing for specified nuclides (card 2, word 1=1), input card 3 for each nuclide desired.

Word	1	2	3	4			Number of cards 3 - card 2, word 2.
Column	1-12	24	36	48			
Format	Decimal	Integer	Integer	Integer			
Card	Nuclide I.D. number on data tape	Print standard nuclide data? 0 = No 1 = Yes	Print resonance parameters? 0 = No 1 = Yes	Print scatter- ing kernel? 0 = No 1 = Yes			
Symbol	TIDA	NCJD	NR	NK			

Table 6.8B Set up of input cards for SPRINT code

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.1/CORE 64  
W.0/PAGE 40  
T.0/TIME 1  
P.0/PCH 0

\*GJOB  
\*LIEDKP J0051.GGC4SPRT  
SELECT RELBIN  
FIN  
\*RUN  
\*TAPE F01.J0051.GGC4WTFG.OLD.001520  
\*DISK F08  
\*DATA  
NEW THERMAL SHORT TAPE NOV.21 1973  
1 1  
92,235 1  
¥JEND

Master tape produced by WTFG code

Table 6.7B Set up of input cards for COMBIN code

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.O/CORE 32  
 W.O/PAGE 40  
 T.I/TIME 2  
 P.I/PCH 1000

\*GJOB  
 \*LIEDX= J0051.GGC4COMB  
 SELECT REBRIN  
 FIN  
 \*RUN  
 \*TAPE F02.J0051.GGC4MGT.OLD.001415  
 \*DISK F03  
 \*PUNCH OUT=200  
 \*DATA

Working tape produced by MGT code

54.616005304	5	1	1	COMBIN 1
SUS 304 FROM AGN TM-407				S304 3
14.0 0.0196				4
24.0 0.2002				
25.0 0.0200				
26.0 0.6715				
28.0 0.0887				
54.758005321	5	1	1	SUS32
SUS 321 FROM AGN TM-407				
14.0 0.0196				
24.0 0.1899				
25.0 0.0200				
26.0 0.6819				
28.0 0.0886				
54.6640005347	5	1	1	SUS347
SUS 347 FROM AGN TM-407				
14.0 0.0196				
24.0 0.1900				
25.0 0.0200				
26.0 0.6723				
28.0 0.0981				
55.289005316	6	1	1	SUS3 6
SUS 316 FROM AGN TM-407				
14.0 0.0196				
24.0 0.1815				
25.0 0.0202				
26.0 0.6504				
28.0 0.1135				
42.0 0.0146				
56.461001NCO	3	1	1	INCON
INCONEL FROM AGN TM-407				
24.0 0.1636				
26.0 0.0994				
28.0 0.7170				
56.62700HASK	7	1	1	INCON-X
HASTELLOY-X FROM AGN TM-407				HASTE -X
24.0 0.2522				
25.0 0.0080				
26.0 0.1933				
27.0 0.0129				
28.0 0.4793				
42.0 0.0533				
74.0 0.0010				
59.132001NCX	6	1	1	INCON -X
INCONEL-X FROM AGN TM-407				
13.0 0.0153				
24.0 0.1762				
26.0 0.0741				
27.0 0.0050				
28.0 0.7233				
41.0930 0.0061				
91.33690ZRY4	4	1	1	ZRY-4
ZRY-4 FROM JALRI-M 4881				
24.0 0.0018				
26.0 0.0034				
40.0 0.9836				
50.0 0.0112				
91.34960ZRY2	5	1	1	ZRY-2 3
ZRY-2 FROM JALRI-M 4881				4
24.0 0.0018				5
26.0 0.0026				
28.0 0.0009				
40.0 0.9830				
50.0 0.0117				

¥JEND

Table 6.9A Input data for DOP code

Word	1	
Column	10-12	
Format	Integer	
Card	Number of energy pts. at which cross sections calculated ( $\leq 141$ )	
Symbol	NBG	

Word	1	2	3	4	5	6	Note: Input energy values from lowest to highest (lowest at point 1).
Column	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
Format	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
Card	Energy of point 1 (ev)	Energy of point 2 (ev)	Energy of point 3 (ev)	etc.	etc.	etc.	
Symbol	E(1)	E(2)	E(3)	etc.	etc.	etc.	

Word	1-72	
Column	1-72	
Format	Alphanumeric	
Card	Problem or nuclide description (for page headings)	
Symbol	CNAME (I), I=1, 12	

Word	1	2	3	4		
Column	1-12	13-24	25-36	37-48		
Format	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.		
Card	Mass of nuclide	Statistical factor, g (if $\leq 0.$ , input g for each resonance)	Potential scattering cross-section, $\sigma_p^0$ (barns)	Temperature for Doppler broadening calculation ( $^{\circ}K$ )		
Symbol	WGT	SPIN	SPT	TEMP		

WORD	1	2	3	4	5	6	Note:
COLUMN	11-12	24	36	48	60	72	
FORMAT	Integer	Int.	Int.	Int.	Int.	Int.	
CARD	Number of resonances ( $\leq 50$ )	Specify fission widths ( $\Gamma_f$ )? 0 = No 1 = Yes	Normalization: 0 = none 1 = constant $\Gamma_n$ to normalize $d_a$ 2 = $\sigma_a$ norm. to given value 3 = similar to 1 4 = similar to 2 5 = None but extra print given	Punch resonance parameters for WIFG? 0 = No 1 = Yes	Punch cross-section for WIFG? 0 = No 1 = Yes	Form of neutron half-widths: 0 = standard ( $\Gamma_n$ ) 1 = reduced ( $\Gamma_n^0$ )	See next page for full description of normalization option (word 3).
SYMBOL	NEZ	NFTS	NORM	NPAR	NSIG	NGN	

If statistical factor given for each resonance (card 4, word 2  $\leq 0.$ ), input card 6A.

WORD	1	2	3	4	5	6	
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48	49-60	61-72	
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	Dec.	
CARD	Resonance energy, $E_0$ (ev)	Spin (I) of target nucleus, or statistical factor (g)	If word 2 = I, input spin of compound nucleus (J) For word 2 = g, input-1.0	$\Gamma_\gamma$ Gamma width (mv)	$\Gamma_n$ or $\Gamma_n^0$ Neutron half-width (mv)	$\Gamma_f$ Fission width (mv), if input	Repeat card 6A for each resonance $g = \frac{1}{2} \left( \frac{2J+1}{2I+1} \right)$ if both I and J input.
SYMBOL	EZ(K)	GI(K)	GJ(K)	GG(K)	GN(K)	GF(K)	

Table 6.9A (Continued)

## Explanation of word 3, card 5 (Normalization option)

<u>Value</u>	<u>Effect</u>
0	No normalization
1	A constant value of $\Gamma_\gamma$ for all resonances will be used to normalize absorption cross-section to specified value at given energy.
2	Absorption cross-section will be normalized to given value at given energy by adjusting $E_0$ for the negative energy resonance specified
3	Same normalization as 1. In addition, contribution of each resonance to total absorption and scattering cross-sections at normalization energy point and highest energy point will be calculated and printed.
4	Same normalization as 2, with additional calculation and print as described for 3.
5	No normalization, but contribution of each resonance to the cross-sections at highest energy point will be calculated and printed.

(For options 1 through 4, additional information will be required on card 7.)

Table 6.9A (Continued)

If statistical factor constant (card 4, word 2 > 0.), input card 6B for each resonance.

WORD	1	2	3	4		
COLUMN	1-12	13-24	25-36	37-48		
FORMAT	Decimal	Dec.	Dec.	Dec.		
CARD	Resonance energy, $E_0$ (ev)	$\Gamma_\gamma$ Gamma width (mv)	$\Gamma_n$ or $\Gamma_n^0$ Neutron half-width (mv)	$\Gamma_f$ Fission width (mv), if input		
6B						
SYMBOL	EZ(K)	GG(K)	GN(K)	GF(K)		

If no normalization desired (card 5, word 3 = 0 or 5), skip to card 8.

WORD	1	2				
COLUMN	1-12	13-24				
FORMAT	Decimal	Dec.				
CARD	Base energy for cross-section normalization (must match one of input energies: card 2)	Total absorption cross-section at $E_0$ (barns)				For example, $E_0 = 0.0253$ eV
7						
SYMBOL	E0	SAG				

Word	1	
Column	1-4	
Format	Alphanumeric	
Card	Punched card I.D. (for col. 73-76)	
8		
Symbol	CMD	

Word	1	
Column	12	
Format	Integer	
Card	Repeat option: 0 = No more problems. 1 = Complete new prob. 2 = repeat for new nuclide 3 = repeat for new temperature	
9		
Symbol	NEWP	

For word 1 > 0,	
Value	Cards needed
1	all (1-9)
2	3 thru 9
3	10, then 9

Go to card 1, 3 or 10 as specified on card 9.

Word	1	
Column	1-12	
Format	Decimal	
Card	New temperature for Doppler broadening ( $C_D$ )	
10		
Symbol	TEMP	

Table 6.9B Set up of input cards for DOP code

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C,0/CORE 32  
 W,0/PAGE 40  
 T,2/TIMS 5  
 P,0/PCH 0

\*GJOB  
 \*LIEDKP J0051,GGC4DOPL  
 SELECT RELBIN  
 FIN  
 \*RUN  
 \*DATA

	101						DOP	1
0.0010	0.0020	0.0040	0.0050	0.0070	0.0080		E(101)	1
0.0100	0.0150	0.0200	0.0253	0.0300	0.0400		E(101)	2
0.0500	0.0600	0.0650	0.0700	0.0750	0.0800		E(101)	3
0.0850	0.0900	0.0950	0.1000	0.1200	0.1400		E(101)	4
0.1600	0.1800	0.2000	0.2200	0.2300	0.2400		E(101)	5
0.2500	0.2600	0.2700	0.2800	0.2900	0.3000		E(101)	6
0.3100	0.3200	0.3300	0.3400	0.3500	0.3600		E(101)	7
0.3800	0.4140	0.4200	0.4300	0.4500	0.4600		E(101)	8
0.4700	0.4750	0.4800	0.4900	0.5000	0.5320		E(101)	9
0.5500	0.5750	0.5900	0.6000	0.6250	0.6500		E(101)	10
0.6830	0.7000	0.7500	0.8000	0.8500	0.8760		E(101)	11
0.8900	0.9100	0.9300	0.9500	0.9700	0.9800		E(101)	12
0.9900	1.0000	1.0250	1.0500	1.0600	1.0700		E(101)	13
1.0800	1.0900	1.1100	1.1250	1.1300	1.1500		E(101)	14
1.2000	1.2500	1.3000	1.3500	1.4400	1.5000		E(101)	15
1.6000	1.7000	1.7800	1.8600	1.9000	2.0000		E(101)	16
2.1000	2.2000	2.2900	2.3300	2.3800			E(101)	17
U-235 300 K	REFER	GA-2113					DOP	3
235.	-0.5	10.	300.				DOP	4
	3	1	2				DOP	5
0.273	0.5	1.0	29.	0.0029	99.		DOP	6A
1.140	0.5	1.0	44.	0.0172	124.6		DOP	6A
2.035	0.5	1.0	35.	0.0077	12.		DOP	6A
0.0253	682.							7
	3						DOP	9
1200.							DOP	10
	3						DOP	9
2400.							DOP	10
	0						DOP	9

¥JEND



## 7 あとがき

GGC-4コードは本来均質炉（例えば、高温ガス炉）用として作成されたものであるが、工夫して用いれば非均質炉にも用いることができよう。例えばGATHERセクションの出力をTHERMOSコードなどに入力してセル計算など行わせる如くである。

GATHERセクションの熱中性子源として、GAMセクションからの値か、あるいは1/Eスペクトラムを仮定しての値かによって、GATHERセクションの群定数に若干の差が見られる。Table 7.1の例ではJP2炉心に対してあるが、上方散乱における差が最も大きい。温度依存の重要な均質炉体系では、この差の影響が出てこよう。

Table 7.1 Difference in the thermal group cross sections due to different slowing down sources

Slowing down spectrum	$\Sigma_c$	$\Sigma_f$	$\Sigma_s^{up}$	$\Sigma_s^{ingroup}$	$\Sigma_s$
by GAM	$2.6796 \times 10^{-2}$	$5.3525 \times 10^{-2}$	$2.1011 \times 10^{-5}$	1.0271	1.0271
by 1/E	$2.6514 \times 10^{-2}$	$5.2862 \times 10^{-2}$	$2.3842 \times 10^{-5}$	1.0229	1.0229

Note: Cross sections for the 2.6% enriched JP-2 core.

GAMセクションの共鳴計算の入力として必要なダンコフ補正係数を作成するコード（正方格子系および六方格子系に対して）を付録Aに付けておいたので利用されたい。

断面積ライブラリーに対する補助プログラムを有効に利用すれば更に便利なことがある。例えば遅発中性子スペクトラムなどを入力することもよい。

GGC-4コードの断面積ライブラリー、およびGGC-4本体の計算結果などの他のコードおよび実験などとの比較が文献19) 20) 21) 22) 23) 24)に記されている。我々のNSRR<sup>30)</sup>に対する計算でGGC-4コードのGAMセクションとGAM-1コードとの比較（エネルギー群数6）では、前者が212秒で後者が32秒であった。GAM-1コード<sup>10)</sup>に比較してGGC-4コードのGAMセクションの方は約7倍計算時間がかかるが、汎用性の点で便利であるので仕方がないであろう。

COMBOセクションの出力カードの中で拡散コードの入力形式の方は現在、GURNET（一次元拡散）コード<sup>15)</sup>およびEXTERMINATOR-2（二次元拡散）コード<sup>14)</sup>に入力できるように断面積データの入力形式の変換プログラムを作成してあるので（付録B参照）、合わせて利用されたい。

## 8 文 献

GGC-4コードの直接の解説書は以下に示す文獻1)2)3)4)5)6)および11)である。この報告書は主にこれらからまとめた。

- 1) Adir J., and Lathrop K.D. "Theory of methods used in the GGC-4 multigroup cross section code" GA-9021(1968)
- 2) Adir J., Clark S.S., Froehlich R., and Todt L.J. "Users' and programmers' manual for the GGC-3 multigroup cross section code; part 1 (users' part)", GA-7157(1967)
- 3) Adir J., Clark S.S., Froehlich R., and Todt L.J. "Users' and programmers' manual for the GGC-3 multigroup cross section code; part 2 (programmers' part)", GA-7157(1967)
- 4) Joanou G.D. and Stevens G.A., "Neutron cross section for  $^{238}\text{U}$ ", GA-6087 Rev. (1965)
- 5) Joanou G.D., Smith C.V., and Vieweg H.A. "GATHER-II; An IBM-7090 FORTRAN-II program for the computation of thermal neutron spectra and associated multigroup cross sections", GA-4132(1963)
- 6) Drake M.K., Smith C.V., and Todt L.J., "Description of auxiliary codes used in the preparation of data for the GGC-3 code", GA-7158(1967)
- 7) Williams M.M.R., "The Slowing Down and Thermalization of Neutrons", North-Holland (1966) の Chap. X.1.2
- 8) Varga B.S. "Matrix Iterative Analysis" Prentice-Hall(1962)
- 9) Kuncir G.F., "A program for the calculation of resonance integrals", GA-2525(1961)
- 10) Joanou G.D. and Dudek J.S., "GAM-1; A consistent  $P_1$  multigroup code for the calculation of fast neutron spectra and multigroup constants", GA-1850(1961) の Discussions of GAM code の章
- 11) Hinman G.W. and Sampson J.B., "A rigorous determination of the Doppler broadening of nuclear resonances for a Maxwellian gas absorber" GA-3603(1962)
- 12) Lathrop K.D., "DTF-W, A FORTRAN-W program for solving the multigroup transport equation with anisotropic scattering", LA-3373(1965)
- 13) Lathrop K.D., and Brinkley F.W., "Theory and use of the general geometry TWOTRAN program, LA-4432(1970)

- 14) Fowler T.B., Tobias M.L. and Vondy D.R., "EXTERMINATOR-2; A FORTRAN-IV code for solving multigroup neutron diffusion equations in two dimensions ", ORNL-4078(1967)
- 15) 伊勢武治, 久保諄洋 "汎用一次元拡散コードGURNET" JAERI-1215(1971)
- 16) Dorsey J. P. and Froehlich R., "GAMBLE-5; A program for the multigroup neutron diffusion equations in two dimensions with arbitrary group scattering, for the UNIVAC-1108 computer", GA-8188(1967)
- 17) Wilcox T.P. and Perkins S.T. "AGN-GAM, An IBM7090 code to calculate spectra and multigroup constants" AGN TM-407 (1965)
- 18) 森島淳好, 栗山實, 原山泰雄 "第1集 燃料設計に必要な物性値及び計算図表(改訂第2版)" JAERI-M4881(1972)
- 19) Gibson G. and Moran L.L. "Tests of the GGC-3, GGC-4 neutron slowing down codes and comparisons with the codes GAMBIT and TRANSFER" WANL-TME-1933(1969)
- 20) Moore R.A., Sargis D.A., and Cohen S.C., "Integral tests of ENDF/B and GAM neutron cross section data in a clean fast assembly" Nucl. Sci. Eng. 39, 2, 263(1970)
- 21) "CDC6600, CDC3600 センターニュース臨時増刊号", センチュリーリサーチセンター(昭和46年11月)
- 22) Bardes R. G. et al "Results of HTGR critical experiments designed to make the integral checks on the cross sections in use at Gulf General Atomic" GA-8468(1968)
- 23) Wright R.Q., Greene N.M., Lucius J.L., and Craven Jr.C.W. "SUPERTO; A program to generate fine group constants and  $P_n$  scattering matrices from ENDF/B" ORNL-TM-2679(1969)
- 24) Honeck H.C. & Finch D.R. "FLANGEII, A code to process thermal neutron data from an ENDF/B tape" DP-1278(1971)
- 25) Koppel J.U., Triplett J.R., and Naliboff Y.D. "GASKET, A unified for thermal neutron scattering" GA-7147(Rev.)(1967)
- 26) Bell J. "SUMMIT An IBM-7090 program for the computation of crystalline scattering kernels" GA-2492(1962)
- 27) Naliboff Y.D. and Koppel J.U. "HEXSCAT, coherent elastic scattering of neutrons by hexagonal lattices" GA-6026(1964)
- 28) 飯島俊吾, 鍋沢正道 "非等方結晶に対する模型のコードのマニュアル(UNCLE)" JAERI-1087(1965)

- 29) Nakahara Y. & Kadotani H. "A computational method of thermal neutron scattering kernels for high temperature crystals" JAERI-1220(1971)
- 30) 伊勢武治, 中原康明, 秋元正幸 "NSRRの熱中性子スペクトルと温度係数"  
JAERI-M 5730(1974年5月)
- 31) Butlant A.T.D. and Chudley C.T. "A comparative study of various light water scattering models used in thermal reactor calculations" AEEW-R-814(1972)
- 32) Wright R.Q., Schenter R.E. and Jenkins J.D. "Comparison of the group constants generated by the ENDF/B processing codes ETOX and SUPERTOG" ORNL-TM-4041(1973)
- 33) Carlvik I. "Dancoff correction in square and hexagonal lattices," Nucl. Sci. Eng. 29, 325(1967)
- 34) Goodjohn A.J. and Pomraning G.C. (ed.) "Reactor Physics in the Resonance and Thermal Regions : Vol.II Resonance Absorption"  
の中 p223~260

## 付録 A Dancoff 係数の計算コード

正方格子系および六方格子系の Dancoff 補正係数を積分型輸送方程式を厳密に解いて得られる計算コード<sup>33)</sup>を紹介しておく。

Table A.1 は入力形式であり, Table A.2 はその使用例であり, 出力プリントの中で DANCOFF CORRECTION と記されているのが求める Dancoff 補正係数である。

Table A.1 Input specifications for the code computing the Dancoff correction factor

Card	Format	Symbol	Contents
1	18A4	TITLE(I), I=1, 18	Problem description
2	13, E12.5, E12.5, E12.5,	NLAT, PITCH, RADIUS, GAPWID	= 4 for cubic lattices, = 6 for hexagonal lattices, Distance between fuel centers(cm), Radius of fuel rod(cm), Gap width between fuel and moderator (cm)
3	13, 16, 16,	NSIGMA, NALF, NRAD	Total number of input cross sections for moderator, Total number of angular mesh points for solving the integral transport equation(ordinally 70 is enough), Total number of spatial mesh points in the radial direction(ordinally 40 is enough)
4	6E12.5	SIGMA(I), I=1, NSIGMA	Cross sections for moderator( $\text{cm}^{-1}$ )

Table A.2 Input card setup for a calculation of the Dancoff correction factor

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

¥NO

C.O/CORE 32  
W.O/PAGE 40  
T.O/TIME 1  
P.O/PCH 0

\*GJOB  
\*LIEDKP J0051.GGC4DANC  
SELECT RELBIN

FIN

\*RUN

\*DATA

1 DANCOFF CORRECTION FOR NSRR FUEL LATTICE H2O+SUS. H2O 23C 140\*70

6 4.1706 1.7793 0.0432

3 140 70

1,4018 1.3915 1.3517

¥JEND

## 付録B GGCコードの出力カードからGURNETおよび EXTERMINATOR-2コード用の入力カードへ 変換するプログラム

GGCコードからの出力カードの拡散コード用断面積データは、GURNET(1次元拡散)<sup>15)</sup>コードやEXTERMINATOR-2(2次元拡散)<sup>14)</sup>コードの断面積データとは、入力形式が異なるので、そのままでは用いることはできない。そこで、入力形式の変換プログラム(SHRIMP3)を作成したので、その使用法を説明しておく。

この変換プログラムの機能は次の通りである：

- (1) GGCからのデータからすぐにGURNET用データを作成する。
- (2) GGCからのデータを、GURNET用データの一部と交換したり、あるいは付け加えたりする。
- (3) GURNET用データと同時にEXTERMINATOR-2用のデータも作成する。  
特に、機能(2)を用いるときは、GURNETコードの入力形式についての知識を予め持っていることが望ましい。

Table B.1には、このプログラムの入力形式が示してあり、Table B.2には、使用例が示してある。この使用例は、機能(2)に属していて、GGCからの物質データでGURNET用データの一番最後尾の物質データが置き換えられている例である。

尚、現在、GGCからの拡散コード用データを直接読み込むことができるコードは、GAMBLE-5(2次元拡散)<sup>16)</sup>コードのみのものであるが、未だFACOMへの変換はなされていない。

Table B.1 Input format description for the format conversion program (SHRIMP3) from GGC output cards to GURNET and EXTERMINATOR-2 cross section input cards

Card	Format	Symbol	Contents
1	20A4	TITLE(I), I=1, 20	Problem description
2	6I5	IGU,  IEMAX, MAX,  MMAX,  IFF,  ITT	<p> IGU =1: read GGC format cards only,  IGU =2: read GGC and GURNET format cards, IGU&gt;0: output the input cards of GURNET format only, IGU&lt;0: output the input cards of GURNET and EXTERMINATOR-2 formats</p> <p>Number of energy groups. Number of materials of GGC format cards. Number of materials of GURNET format cards. Treatment for the absorption cross section for GURNET; IFF=0: absorption cross section, IFF=1: capture and fission cross sections. Treatment for the diffusion coefficient for GURNET; ITT=0: diffusion coefficient, ITT=1: transport cross section.</p>



Table B.1 (Continued)

Card	Format	Symbol	Contents
3	8I10	MAA(M), M=1, MAX	The corresponding material's identification number when the materials of GGC format are assigned to those of GURNET format.

Table B.1 (Continued)

If you don't have the data from GURNET, skip to card 5.

Card	Format	Symbol	Contents
4	I10, 7E10.4	DO ** I=1, IEMAX ** IA(I), (XSEC(I, M), M=1, MMAX)	Material cross section data from GURNET; in order of $\nu\Sigma_f$ , $\Sigma_a$ (or $\Sigma_f$ , $\Sigma_c$ for IFF=1), D (or $\Sigma_{tr}$ for ITT=1), and $\Sigma_s$ -matrix for XSEC. Ordinarily, the punch-output cards from previous calculations are used.
5	20A4  6E12.5	DO * M=1, MAX  (A(M, I), I=1, 20),  DO ** I=1, IEMAX ** XSEC(M, I), -----	Data from GGC. The following data are repeated MAX times; Material description (ordinarily, the cards before each material data in GGC output cards are used) Interaction cross sections: in order of $\nu$ , $\Sigma_f$ , $\Sigma_c$ , $\Sigma_{tr}$ , $\Sigma_{n,2n}$ and $\Sigma_{any}$ ( $\Sigma_{any}$ =any cross section, ordinarily blank) for XSEC, -----.

Table B.1 (Continued)

Card	Format	Symbol	Contents
5 (Cont.)	6E12,5	DO *** I=1, IEMAX *** XS(M,I,J), J=1, IEMAX * CONTINUE	Scattering transfer matrix: $\sum_s (E_I \rightarrow E_J), E_J = E_1 \sim E_{IEMAX},$ ordinarily, the output cards from previous calculations are used.

Table B.2 Setup input cards for SHRIMP3 code

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

YNO

C.0/CORE 32  
 W.0/PAGE 40  
 T.0/TIME 1  
 P.2/PCB 200

\*GJOB  
 \*LIEDKP JO051.SHRIMP3  
 SELECT RELBIN  
 FIN  
 \*RUN  
 \*PUNCH  
 \*DATA

GURNET+GGC TO GURNET\*\*\*EXCHANGE 5.2 E.O.-002 FOR 20 E.O.-002  
 2 9 1 7 0 0

16290.2870E-020.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4719E-01
16490.2097E-020.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3362E-01
16690.7809E-030.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4995E-02
16890.1060E-020.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5486E-02
17090.1402E-010.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6628E-01
17290.3997E-010.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2170E 00
17490.9588E-010.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5634E 00
17690.1672E 000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9341E 00
17890.2911E 000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1977E 01
158320.1738E-020.3209E-020.3241E-040.8122E-030.4638E-050.0					0.1835E-01
158520.8097E-030.0	0.2093E-030.2546E-040.0			0.1500E-030.1361E-01	
158720.5913E-030.0	0.4639E-030.7441E-040.0			0.3300E-030.5066E-02	
158920.1673E-020.0	0.1050E-020.3143E-030.0			0.9200E-030.9107E-02	
159120.2508E-010.5993E-030.4357E-020.1175E-020.0				0.4230E-020.7340E 00	
159320.2554E-010.4139E-020.4619E-010.3032E-020.9021E-090.3730E-020.1161E 00					
159520.5911E-010.8019E-020.6842E-010.5454E-020.1603E-080.3440E-020.3039E 00					
159720.1001E 000.1299E-010.1432E 000.9218E-020.2746E-050.5460E-020.4867E 00					
159920.1773E 070.2470E-010.2724E 000.1756E-010.4840E-080.1020E-010.1023E 01					
129110.2222E 010.2769E 010.1955E 010.3148E 010.4297E 040.2770E 010.2387E 01					
129310.1742E 010.2141E 010.1753E 010.2545E 010.3659E 040.2470E 010.2024E 01					
129510.1340E 010.1717E 010.1810E 010.1940E 010.2664E 040.1770E 010.1427E 01					
129710.9258E 000.1206E 010.1230E 010.1319E 010.2227E 040.9510E 000.1021E 01					
129910.5886E 000.6642E 000.4823E 000.9265E 000.2438E 040.1160E 010.6120E 00					
130110.4814E 000.4846E 000.3635E 000.6750E 000.1711E 040.9650E 000.5295E 00					
130310.5311E 000.2739E 000.3472E 000.5375E 000.1707E 040.9660E 000.3004E 00					
130510.2249E 000.1976E 000.3279E 000.4370E 000.1695E 040.9610E 000.1933E 00					
130710.1126E 000.1057E 000.2335E 000.2846E 000.1654E 040.9500E 000.1192E 00					
20290.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24290.7355E-010.6670E-010.5658E-010.5369E-010.2451E-040.2360E-010.2972E-01					
28290.2051E-010.1620E-010.3677E-010.8734E-020.2464E-060.2790E-010.2854E-01					
32290.1831E-010.1431E-010.2157E-010.6500E-020.1685E-060.1470E-010.2621E-01					
36290.1675E-030.2053E-030.1418E-050.5642E-040.0				0.5820E-050.1431E-04	
40290.1301E-070.1601E-070.0			0.4403E-080.0	0.0	0.0
44290.7558E-080.9300E-080.0			0.2558E-060.0	0.0	0.0
48290.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
52290.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20490.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24490.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28490.7052E-010.7341E-010.3892E-010.4463E-010.1725E-040.2240E-010.4477E-01					
32490.5391E-010.5654E-010.1458E-010.1740E-010.0				0.1560E-010.3415E-01	

Table B.2 (Continued)

.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

36490.6795E-030.8185E-030.1077E-050.2353E-030.0	0.1900E-040.2608E-04
40490.5288E-070.6382E-070.0	0.1833E-070.0
44490.3072E-070.3707E-070.0	0.1065E-070.0
48490.0	0.0
52490.0	0.0
20690.0	0.0
24690.0	0.0
28690.0	0.0
32690.1755E-000.2187E-000.2339E-010.9220E-010.2713E-040.1140E-010.3802E-01	0.1610E-050.2726E-04
36690.2375E-020.2982E-020.2157E-070.8012E-030.0	0.0
40690.1851E-060.2325E-060.0	0.6247E-070.0
44690.1075E-060.1350E-060.0	0.3628E-070.0
48690.0	0.0
52690.0	0.0
20890.0	0.0
24890.0	0.0
28890.0	0.0
32890.0	0.0
36890.1387E-000.1767E-000.1715E-020.5424E-010.9385E-060.1100E-020.9366E-02	0.1303E-09
40890.1072E-040.1362E-040.0	0.3712E-050.0
44890.6229E-050.7912E-050.0	0.2156E-050.0
48890.0	0.0
52890.0	0.0
21090.0	0.0
25090.0	0.0
29090.0	0.0
33090.0	0.0
37090.0	0.0
41090.6863E-010.9485E-010.3646E-030.2905E-010.6397E-080.6240E-030.2472E-02	0.0
45090.3952E-010.5418E-010.0	0.1407E-010.0
49090.0	0.0
53090.0	0.0
21290.0	0.0
25290.0	0.0
29290.0	0.0
33290.0	0.0
37290.0	0.0
41290.0	0.0
45290.4332E-000.5223E-000.1601E-010.1902E-000.2057E-040.0	0.2236E-01
49290.1112E-000.1022E-000.0	0.2862E-010.0
53290.3006E-010.2799E-010.0	0.7853E-020.0
21490.0	0.0
25490.0	0.0
29490.0	0.0
33490.0	0.0
37490.0	0.0
41490.7906E-030.1300E-020.2867E-030.1260E-020.4776E-060.0	0.8656E-03
45490.0	0.0
49490.3441E-000.7154E-000.8023E-010.2267E-000.2654E-040.0	0.4839E-01
53490.1543E-000.1726E-000.0	0.4116E-010.2227E-070.0
21690.0	0.0
25690.0	0.0
29690.0	0.0
33690.0	0.0
37690.0	0.0

Table B.2 (Continued)

.....\*.....1.....\*.....2.....\*.....3.....\*.....4.....\*.....5.....\*.....6.....\*.....7.....\*.....8

41890.3337E-01	0.2812E-00	0.0	0.7905E-07	0.0	0.1732E-11
42890.3022E-01	0.6629E-01	0.9143E-02	0.2786E-01	0.7263E-05	0.5288E-02
43890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45890.1867E-00	0.6062E-00	0.7027E-01	0.2145E-00	0.2058E-04	0.3299E-01
21890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
33890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
37890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
41890.3857E-07	0.6381E-07	0.0	0.1710E-07	0.0	0.0
45890.1564E-01	0.1322E-01	0.0	0.3535E-02	0.4970E-08	0.8149E-05
49890.2225E-00	0.5225E-00	0.6044E-01	0.1872E-00	0.3348E-04	0.2357E-01
1 53890.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UO2 20.0 FROM GSC-DIFFUSION					
3.0357E-00	1.7791E-02	2.8726E-03	1.3984E-01	1.7797E-03	2.9300E-02 20. 1X 1
2.8845E-00	1.5597E-02	1.0313E-03	1.8470E-01	0.0	4.4882E-02 20. 2X 1
2.5307E-00	8.2366E-03	3.0437E-03	2.3355E-01	0.0	3.7261E-02 20. 3X 1
2.4448E-00	6.6309E-03	7.6520E-03	3.2837E-01	0.0	3.3562E-02 20. 4X 1
2.4300E-00	1.9489E-01	6.5337E-01	9.4470E-01	0.0	2.4904E-03 20. 5X 1
2.4300E-00	3.4348E-01	6.2133E-02	6.2957E-01	0.0	2.2397E-02 20. 6X 1
2.4300E-00	8.9180E-01	2.0859E-01	1.1096E-00	0.0	4.8395E-02 20. 7X 1
2.4300E-00	1.4764E-00	2.8367E-01	1.7243E-00	0.0	3.2987E-02 20. 8X 1
2.4300E-00	3.1288E-00	6.0155E-01	2.7970E-00	0.0	20. 9X 1
1.8472E-01	2.9300E-02	2.7192E-02	2.4936E-02	1.3610E-05	0.0 20. 1F 1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20. 1F 2
0.0	1.8596E-01	4.4882E-02	5.1420E-02	2.5771E-05	0.0 20. 2F 1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20. 2F 2
0.0	0.0	3.0397E-01	5.7281E-02	2.3182E-05	0.0 20. 3F 1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20. 3F 2
0.0	0.0	0.0	4.5882E-01	3.3562E-03	5.0101E-10 20. 4F 1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20. 4F 2
0.0	0.0	0.0	0.0	7.5295E-01	2.4904E-03 20. 5F 1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20. 5F 2
0.0	0.0	0.0	0.0	4.7177E-04	4.4168E-01 20. 6F 1
2.2358E-02	4.1718E-08	0.0	0.0	0.0	20. 6F 2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6557E-04 20. 7F 1
4.2300E-01	4.8393E-02	1.0761E-04	0.0	0.0	20. 7F 2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7321E-12 20. 8F 1
5.2881E-03	4.3816E-01	3.2987E-02	0.0	0.0	20. 8F 2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20. 9F 1
8.1489E-06	2.3565E-02	4.6040E-01	0.0	0.0	20. 9F 2

¥ JEND