

JAERI-M

9 5 2 7

PALLASコード用多群中性子
群定数ライブラリの改訂

1981年6月

笹本宣雄・竹内 清*

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.

PALLASコード用多群中性子
群定数ライブラリの改訂

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

笹本 宣雄・竹内 清*

(1981年5月25日受理)

核定数処理コードシステムNJOYを用いてPALLASライブラリの全面改訂を行った。改訂したライブラリには、14MeVを第1エネルギーメッシュとする0.05レサジ、0.1レサジ、0.2レサジ、0.4レサジ、0.8レサジの各等レサジエネルギー構造に対して、27種類の核種と4種類の混合物質に対する核定数が収納されている。考慮した核定数は、1) 微視的断面積 (σ_t , σ_c , σ_s)、2) 弾性散乱断面積角度分布を表わすルジャンドル展開係数、3) 非弾性散乱、(n , $2n'$) 反応による散乱マトリックス、4) 2次ガンマ線生成マトリックスである。

* 運輸省船舶技術研究所東海支所

Revision of Multi-group Neutron Cross Section
Libraries for PALLAS

Nobuo SASAMOTO and Kiyoshi TAKEUCHI^{*}

Division of Reactor Engineering,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received May 25, 1981)

An overall revision of the PALLAS libraries has been made by using a modified version of the NJOY nuclear data processing system. In the revised libraries, the energy structures with equi-spaced lethargy-width of each 0.05, 0.1, 0.2, 0.4 and 0.8 lethargy are taken into account for 27 nuclides and 4 mixtures. Nuclear constants considered in the libraries are 1) microscopic smoothed cross sections (σ_t , σ_c , σ_s), 2) Legendre expansion coefficients for anisotropy of elastic scattering, 3) scattering matrices due to inelastic scattering and (n,2n') reactions and 4) secondary photon production matrices.

Keywords; PALLAS, NJOY, Neutron, Secondary Photon, Group Constant,
Library, Nuclear Data Processing

^{*}) Ship Research Institute, Tokai Branch

目 次

| | |
|------------------------------|---|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. エネルギーメッシュ構造 | 2 |
| 3. 考慮した核種と物質 | 3 |
| 4. 核定数の種類 | 4 |
| 4.1 微視的断面積 | 4 |
| 4.2 散乱マトリックス | 4 |
| 4.3 ルジャンドル展開係数 | 5 |
| 4.4 2次ガンマ線生成マトリックス | 5 |
| 5. ライブラリ構成 | 6 |
| 6. PALLAS 群定数処理コードシステム | 8 |
| 謝 辞 | 9 |
| 参考文献 | 9 |

CONTENTS

| | |
|--|---|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Energy Mesh Width Structure | 2 |
| 3. Nuclides and Mixtures in the Libraries | 3 |
| 4. Nuclear Constants | 4 |
| 4.1 Microscopic Smoothed Cross Sections | 4 |
| 4.2 Scattering Matrices | 4 |
| 4.3 Legendre Coefficients for Anisotropy | 5 |
| 4.4 Secondary Photon Production Matrices | 5 |
| 5. Structure of the Libraries | 6 |
| 6. Nuclear Data Processing System for PALLAS | 8 |
| Acknowledgement | 9 |
| References | 9 |

1. ま え が き

現行のPALLASライブラリ¹⁾がはじめて作成された当時、このライブラリの出現により直接積分法輸送コードPALLASの使い易さ、計算精度は飛躍的に改善され、以来数多くの遮蔽設計、実験解析等への使用に供されてきた。ところで近年PALLASコードは従来の1次元コードPALLAS-PL, SP²⁾、2次元コードPALLAS-2DCY³⁾の各コードに加えてPALLAS-PL, SP-Br, 2次元(R, θ)コード、3次元(X, Y, Z)コードが新たに開発され、複雑形状を含む遮蔽計算への適用範囲が大巾に拡大されるようになった。さらに従来の1, 2次元コードに關してはコードのモジュール化が進み、また中性子-ガンマ線結合計算機能が追加されるなど計算コードの効率化、計算精度の向上が計られた。このようにPALLASコード群が多様化、精密化し、加えて遮蔽設計計算に対する要求精度が高まる傾向を考慮して、従来のPALLASライブラリを抜本的に改定することにした。

そのために汎用群定数処理コードNJOY⁴⁾を基本として、そこにPALLASコードに適合する形式で核定数のファイルを作成するデータ処理コードを結合して、PALLAS専用核定数処理コードシステムNJOY-PALLASを作成し、本コードシステムを用いて改訂版PALLASライブラリの作成を行った。

今回の改訂にあたっての主な特徴点は以下の通りである。

- 1) 群定数処理コードをRADHEAT-V3⁵⁾からNJOYに変更した。これはNJOYが ENDF/B-IV ライブラリーデータだけを用いて、一貫して中性子群定数から2次ガンマ線生成マトリックスまでの計算を行えるためである。
- 2) エネルギーメッシュ構造として従来の0.1, 0.2, 0.4, 0.8レサジー巾に加え、あらたに0.05レサジー巾の構造を追加した。
- 3) 0.1レサジー、0.2レサジー巾構造ともに従来のエネルギーメッシュ点を大巾にふやし、同一構造で1.4 MeVから熱中性子領域までをカバーできるようにした。0.1レサジー巾の172メッシュ点構造はVITAMIN-Cライブラリの構造に相当するものである。
- 4) 従来のライブラリで取り扱う核種に加えて、D, Be, F, Cu, Wの5種類の核種およびSUS-304, SUS-316, 普通コンクリート, 重コンクリートの4種類の混合物質を新たに考慮した。
- 5) 従来のライブラリがすべてのエネルギー構造に対するすべての核種の核定数を1本のファイルにまとめたのに対し、改訂版ライブラリではエネルギー構造毎に独立のファイルを作成し、これらのファイル群を一括したものをPALLASライブラリとした。これは考慮すべき核種および各エネルギー構造でのメッシュ点の増加により収納すべきレコード数が大巾にふえライブラリ使用に際して不便をきたすおそれがあるからである。
- 6) 自己遮蔽因子の計算方法を、従来のRADHEAT-V3を使用してf-tableの内挿によって求める方法から、RIFFコード⁶⁾を用いて均質無限媒質中での超微細群スペクトルから計算する方法へと変更した。

7) 2次ガンマ線生成マトリックスを新たにライブラリに追加した。

以上のように今回の改訂によりPALLASライブラリは従来のものに比較してより精密で総合的なものとなった。その反面ライブラリのレコード数が大きすぎて実際の遮蔽計算に手軽に利用できるライブラリからむしろ標準ライブラリの性格のものとなった。したがって実際の遮蔽計算へ適合することを目的として、この標準ライブラリを基礎にエネルギーメッシュ数、核種数に任意性をもたせたライブラリを別個に作成することを今後検討する必要があると考えられる。

2. エネルギーメッシュ構造

PALLASのアルゴリズムでは減速計算をエネルギーメッシュ点からメッシュ点への遷移の形で取り扱うため、Snコードにおける一定のエネルギー巾を有する「群(group)」という概念は用いておらず、したがってライブラリのエネルギー構造もメッシュ点で表示される。一方、与えられたメッシュ点での群定数を計算するにはその近傍の一定のエネルギー範囲で断面積分データの平均化処理が必要となり、そのために各エネルギーメッシュ点に対応して上限、下限のエネルギー値を定義する必要がある。PALLASコードは中性子輸送計算に対して等レサジー巾のメッシュ構造を仮定しているが、核分裂炉、核融合炉の中性子輸送計算で対象となるエネルギー範囲である14.2 MeV～熱中性子領域をすべて同一の等レサジー巾構造で計算を行うことは次の2点の理由から現実的でない。すなわち第1に細かいレサジー巾で全エネルギー範囲の計算を行おうとするとエネルギーメッシュ点を非常に多く必要とし、特に多次元PALLASコードによる計算は演算時間の点から無理である。第2にエネルギーメッシュ点の節約のためにメッシュ巾を粗くとると、直接積分法の場合エネルギースペクトルの変化の大きい領域では誤差の増大を招くことになり現実的でない。したがってこれらの問題点を回避するためPALLASコードではエネルギーについてのシリーズ計算法を導入している。これは対象とするエネルギー範囲をあらかじめ分割しておき、それぞれの領域内で等レサジー計算を実施し計算を順次低エネルギー領域へ結合していく方法である。例えば、2次元PALLAS-2DCYの計算に対して高エネルギー側から0.2レサジーで17メッシュ、0.4レサジーで19メッシュ、0.8レサジーで23メッシュの組合わせのシリーズ計算が計算精度と計算時間の兼合いから1つの典型的なパターンとして使用されている。

以上のことからライブラリのエネルギーメッシュ構造が具備すべき条件としては、複数種類の異なるレサジー巾を持つ等レサジーメッシュエネルギー構造をそれぞれ独立に用意すれば良いことがわかる。本ライブラリではTable 1に示すように次の5種類のエネルギー構造を考慮した。まず実用遮蔽計算用ライブラリに対して0.1, 0.2, 0.4, 0.8レサジーのメッシュ巾をもつ各エネルギー構造を定義した。これらのエネルギー構造はすべて14.2 MeV～熱中性子領域をカバーしている。その他に特に速中性子領域での中性子スペクトルの微細構造を研究す

7) 2次ガンマ線生成マトリックスを新たにライブラリに追加した。

以上のように今回の改訂によりPALLASライブラリは従来のものに比較してより精密で総合的なものとなった。その反面ライブラリのレコード数が大きすぎて実際の遮蔽計算に手軽に利用できるライブラリからむしろ標準ライブラリの性格のものとなった。したがって実際の遮蔽計算へ適合することを目的として、この標準ライブラリを基礎にエネルギーメッシュ数、核種数に任意性をもたせたライブラリを別個に作成することを今後検討する必要があると考えられる。

2. エネルギーメッシュ構造

PALLASのアルゴリズムでは減速計算をエネルギーメッシュ点からメッシュ点への遷移の形で取り扱うため、Snコードにおける一定のエネルギー巾を有する「群(group)」という概念は用いておらず、したがってライブラリのエネルギー構造もメッシュ点で表示される。一方、与えられたメッシュ点での群定数を計算するにはその近傍の一定のエネルギー範囲で断面積データの平均化処理が必要となり、そのために各エネルギーメッシュ点に対応して上限、下限のエネルギー値を定義する必要がある。PALLASコードは中性子輸送計算に対して等レサジー巾のメッシュ構造を仮定しているが、核分裂炉、核融合炉の中性子輸送計算で対象となるエネルギー範囲である14.2 MeV～熱中性子領域をすべて同一の等レサジー巾構造で計算を行うことは次の2点の理由から現実的でない。すなわち第1に細かいレサジー巾で全エネルギー範囲の計算を行おうとするとエネルギーメッシュ点を非常に多く必要とし、特に多次元PALLASコードによる計算は演算時間の点から無理である。第2にエネルギーメッシュ点の節約のためにメッシュ巾を粗くとると、直接積分法の場合エネルギースペクトルの変化の大きい領域では誤差の増大を招くことになり現実的でない。したがってこれらの問題点を回避するためPALLASコードではエネルギーについてのシリーズ計算法を導入している。これは対象とするエネルギー範囲をあらかじめ分割しておき、それぞれの領域内で等レサジー計算を実施し計算を順次低エネルギー領域へ結合していく方法である。例えば、2次元PALLAS-2DCYの計算に対して高エネルギー側から0.2レサジーで17メッシュ、0.4レサジーで19メッシュ、0.8レサジーで23メッシュの組合わせのシリーズ計算が計算精度と計算時間の兼合いから1つの典型的なパターンとして使用されている。

以上のことからライブラリのエネルギーメッシュ構造が具備すべき条件としては、複数種類の異なるレサジー巾を持つ等レサジーメッシュエネルギー構造をそれぞれ独立に用意すれば良いことがわかる。本ライブラリではTable 1に示すように次の5種類のエネルギー構造を考慮した。まず実用遮蔽計算用ライブラリに対して0.1, 0.2, 0.4, 0.8レサジーのメッシュ巾をもつ各エネルギー構造を定義した。これらのエネルギー構造はすべて14.2 MeV～熱中性子領域をカバーしている。その他に特に速中性子領域での中性子スペクトルの微細構造を研究す

するために使われる0.05レサジー巾、100メッシュのエネルギー構造を定義した。またそれぞれのメッシュ点に対する上限値、下限値はそれぞれ隣り合うメッシュ点とのレサジー軸の中点を採用した。以上5種類のエネルギー構造を、エネルギーメッシュ、上限値、下限値で表示し、それぞれの値をTable 2に示す。なおこれらの値はレサジー巾 Δu をパラメータとして以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} E_i &= 14.2 \exp \{ -\Delta u (i-1) \}, \\ E_i^{\text{up}} &= E_i \exp (\Delta u/2), \\ E_i^{\text{low}} &= E_i \exp (-\Delta u/2), \end{aligned}$$

ここで Δu はレサジー巾、 E_i 、 E_i^{up} 、 E_i^{low} はそれぞれ*i*番目のエネルギーメッシュ、その上限値、下限値である。

一方ガンマ線エネルギーメッシュ構造は中性子の場合と異りPALLASコードにより規定される条件はなく、すべての中性子エネルギー構造に対して共通のエネルギー構造を用いた。Table 3にガンマ線エネルギー構造を示す。メッシュ点は隣り合うメッシュ間の波長巾 $\Delta \lambda_i$ ($\equiv 0.511/\Delta E_i$)が

$$\Delta \lambda_i < 0.7$$

となるように決定した。

3. 考慮した核種と物質

本ライブラリでは核分裂炉、核融合炉の遮蔽計算上重要性の大きい27種類の核種と4種類の混合物質を考慮した。Table 4に質量数と共にこれらのリストを示す。質量数はPALLASコードでライブラリデータの読み込みと同時に核種毎にカードから入力する必要のあるデータである。混合物質であるSUSとコンクリートの物質組成 (10^{24} atoms/cm³)をTable 5に示す。同表に示した2種類のコンクリートの物質組成中には水素が含まれていないが、これはPALLASコードの中性子散乱計算において水素と非水素核種とを全く別のアルゴリズムで取り扱っておりライブラリデータとして水素を含めた混合物質を考慮することができないためである。したがってPALLAS計算でコンクリートを考慮する時はあたかもその領域に水素とTable 5で与えた組成を持つコンクリートの2種類の核種からなる物質が存在するように入力データを準備しなければならない。また炉心計算では中心的役割を果たす核分裂性物質 (fissile material) と燃料親物質 (fertile material) も、これらの核種を炉心内の遮蔽材と見なすと一般的には桁ちがいに小さい原子数密度のため遮蔽効果はさほど重要ではない。そのためにすべての核分裂性物質を²³⁵Uで、燃料親物質を²³⁸Uでそれぞれ代表させてライブラリに収納した。またタングステンは、ENDF/B-Nには同位元素の形でデータが収納されているため、¹⁸²W (26.5%)、¹⁸³W (14.5%)、¹⁸⁴W (30.6%)、¹⁸⁶W (28.4%)

するために使われる0.05レサジー巾, 100メッシュのエネルギー構造を定義した。またそれぞれのメッシュ点に対する上限値, 下限値はそれぞれ隣り合うメッシュ点とのレサジー軸の中点を採用した。以上5種類のエネルギー構造を, エネルギーメッシュ, 上限値, 下限値で表示し, それぞれの値をTable 2に示す。なおこれらの値はレサジー巾 Δu をパラメータとして以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} E_i &= 14.2 \exp \{ -\Delta u (i-1) \}, \\ E_i^{\text{up}} &= E_i \exp (\Delta u/2), \\ E_i^{\text{low}} &= E_i \exp (-\Delta u/2), \end{aligned}$$

ここで Δu はレサジー巾, E_i , E_i^{up} , E_i^{low} はそれぞれ i 番目のエネルギーメッシュ, その上限値, 下限値である。

一方ガンマ線エネルギーメッシュ構造は中性子の場合と異なり PALLAS コードにより規定される条件はなく, すべての中性子エネルギー構造に対して共通のエネルギー構造を用いた。Table 3にガンマ線エネルギー構造を示す。メッシュ点は隣り合うメッシュ間の波長巾 $\Delta \lambda_i$ ($\equiv 0.511/\Delta E_i$) が

$$\Delta \lambda_i < 0.7$$

となるように決定した。

3. 考慮した核種と物質

本ライブラリでは核分裂炉, 核融合炉の遮蔽計算上重要性の大きい27種類の核種と4種類の混合物質を考慮した。Table 4に質量数と共にこれらのリストを示す。質量数は PALLAS コードでライブラリデータの読み込みと同時に核種毎にカードから入力する必要のあるデータである。混合物質である SUS とコンクリートの物質組成 (10^{24} atoms/cm³) を Table 5 に示す。同表に示した2種類のコンクリートの物質組成中には水素が含まれていないが, これは PALLAS コードの中性子散乱計算において水素と非水素核種とを全く別のアルゴリズムで取り扱っておりライブラリデータとして水素を含めた混合物質を考慮することができないためである。したがって PALLAS 計算でコンクリートを考慮する時はあたかもその領域に水素と Table 5 で与えた組成を持つコンクリートの2種類の核種からなる物質が存在するように入力データを準備しなければならない。また炉心計算では中心的役割を果たす核分裂性物質 (fissile material) と燃料親物質 (fertile material) も, これらの核種を炉心内の遮蔽材と見なすと一般的には桁ちがいに小さい原子数密度のため遮蔽効果はさほど重要ではない。そのためにすべての核分裂性物質を ^{235}U で, 燃料親物質を ^{238}U でそれぞれ代表させてライブラリに収納した。またタングステンは, ENDF/B-N には同位元素の形でデータが収納されているため, ^{182}W (26.5%), ^{183}W (14.5%), ^{184}W (30.6%), ^{186}W (28.4%)

の同位体組成を用いて天然タングステンの核定数を計算しライブラリに収納した。

4. 核定数の種類

4.1 微視的断面積

本ライブラリでは群定数化された微視的断面積 (group-averaged smoothed cross section) として、全断面積 (σ_t)、中性子捕獲断面積 (σ_c)、全弾性散乱断面積 (σ_s) の3種類を考慮した。PALLASでは断面積をルジャンドル展開する必要がないため、ENDF/B-IVライブラリのデータをNJ OYコードを用いて処理し、 $T=300^\circ\text{K}$ での P_0 断面積を計算してPALLASコード用の無限希釈断面積とした。群定数計算では重み関数とし速中性子領域が核分裂スペクトル、熱外中性子領域が $1/E$ スペクトル、熱中性子領域がマクスウェル分布スペクトルでそれぞれ表わされる結合スペクトルを用いた。また熱群の定数についてのみ、文献7)で与えられる熱群定数で置換えた。スペクトルを定義するために用いたパラメータは以下の通りである。

| | |
|------------|-------------------------|
| 熱群境界エネルギー | : 0.394 eV |
| 熱群温度 | : 0.0253 eV |
| 核分裂境界エネルギー | : 4×10^5 eV |
| 核分裂温度 | : 1.35×10^6 eV |

つづいてNJ OYで求めた無限希釈断面積から実効断面積を計算するために、ライブラリで考慮した単体核種および混合物質の各成分核種についてRIFFコードを用いて $T=300^\circ\text{K}$ での自己遮蔽因子を計算した。RIFFコードは均質無限媒質に対して等レサジー巾で減速方程式を解き、得られたスペクトルを用いて任意の群構造の群定数に対する自己遮蔽因子を計算するものである。本ライブラリ作成のためのRIFF計算で使用したエネルギー群構造は0.0021等レサジー巾である。またRIFFライブラリに含まれていない核種については自己遮蔽因子を決定できないためライブラリデータとして1.0を用いた。RIFFで取り扱えない核種はH, D, Li-6, Li-7, Be-9, N-14, F, Mg, Si, Ca, Cu, Zr, W, Pbである。なおライブラリ中の核定数は、単一核種に対するデータが微視的断面積の形で与えられ、混合物質については断面積を計算する過程で原子数密度が考慮されているため巨視的断面積の形で与えられる。

4.2 散乱マトリックス

中性子の散乱マトリックスは、非弾性散乱マトリックスと $(n, 2n)$ 反応による散乱マトリックスの全要素を2倍したものをマトリックスとして加え合わせて作成したものであり、微視的断面積と同様NJ OYを用いてENDF/B-IVライブラリを参照して計算したものである。

の同位体組成を用いて天然タングステンの核定数を計算しライブラリに収納した。

4. 核定数の種類

4.1 微視的断面積

本ライブラリでは群定数化された微視的断面積 (group-averaged smoothed cross section) として、全断面積 (σ_t)、中性子捕獲断面積 (σ_c)、全弾性散乱断面積 (σ_s) の3種類を考慮した。PALLASでは断面積をルジャンドル展開する必要がないため、ENDF/B-VライブラリのデータをNJOYコードを用いて処理し、 $T=300^\circ\text{K}$ でのP。断面積を計算してPALLASコード用の無限希釈断面積とした。群定数計算では重み関数とし速中性子領域が核分裂スペクトル、熱外中性子領域が $1/E$ スペクトル、熱中性子領域がマクスウェル分布スペクトルでそれぞれ表わされる結合スペクトルを用いた。また熱群の定数についてのみ、文献7)で与えられる熱群定数で置換えた。スペクトルを定義するために用いたパラメータは以下の通りである。

| | |
|------------|-------------------------|
| 熱群境界エネルギー | : 0.394 eV |
| 熱群温度 | : 0.0253 eV |
| 核分裂境界エネルギー | : 4×10^5 eV |
| 核分裂温度 | : 1.35×10^6 eV |

つづいてNJOYで求めた無限希釈断面積から実効断面積を計算するために、ライブラリで考慮した単体核種および混合物質の各成分核種についてRIFFコードを用いて $T=300^\circ\text{K}$ での自己遮蔽因子を計算した。RIFFコードは均質無限媒質に対して等レサジー巾で減速方程式を解き、得られたスペクトルを用いて任意の群構造の群定数に対する自己遮蔽因子を計算するものである。本ライブラリ作成のためのRIFF計算で使用したエネルギー群構造は00021等レサジー巾である。またRIFFライブラリに含まれていない核種については自己遮蔽因子を決定できないためライブラリデータとして1.0を用いた。RIFFで取り扱えない核種はH, D, Li-6, Li-7, Be-9, N-14, F, Mg, Si, Ca, Cu, Zr, W, Pbである。なおライブラリ中の核定数は、単一核種に対するデータが微視的断面積の形で与えられ、混合物質については断面積を計算する過程で原子数密度が考慮されているため巨視的断面積の形で与えられる。

4.2 散乱マトリックス

中性子の散乱マトリックスは、非弾性散乱マトリックスと $(n, 2n)$ 反応による散乱マトリックスの全要素を2倍したものをマトリックスとして加え合わせて作成したものであり、微視的断面積と同様NJOYを用いてENDF/B-Vライブラリを参照して計算したものである。

マトリックスは減速後のエネルギー群巾あたりの断面積で与えられるため、PALLASコードで使用するには単位エネルギー巾あたりの値 (MeV^{-1}) に変換する必要がある。非弾性散乱反応、 $(n, 2n)$ 反応は共にしきい核反応であるため、しきいエネルギー以下の中性子に対する断面積は常にゼロであり、さらに1回の核反応で中性子が受ける減速巾は有限であるため、一定のエネルギーメッシュ以下への遷移確率がゼロとなる場合がある。そこでライブラリの容量を節約する目的で、散乱マトリックスの行と列それぞれの全要素がすべてゼロである小行列領域を除いた部分のみをライブラリに収納した。

一方ガンマ線に対しては、PALLASコード内で散乱マトリックスを用いる代わりに Klein-Nishina の微分断面積公式を直接適用しているため、ガンマ線散乱マトリックスはライブラリに収納する必要はない。

4.3 ルジャンドル展開係数

PALLASコードでは弾性散乱の角度分布関数を全弾性散乱断面積 (σ_0) とルジャンドル展開係数から計算して散乱積分計算に使用している。したがってライブラリでは弾性散乱に関するデータを散乱マトリックスの形ではなく、エネルギーメッシュ点での全弾性散乱断面積とルジャンドル展開係数で与える。また収納すべきルジャンドル係数は ENDF/B-IV で与えられる係数を最大20項 (P_1 成分) まで考慮したものである。ENDF/B-IV ライブラリで展開係数を与えるエネルギーメッシュ点と PALLAS ライブラリのそれとが一致しない場合のルジャンドル係数は、そのエネルギー点をはさむ最近接のエネルギー点での係数を用いて展開項毎に二点内挿計算により決定した。 ^9Be , ^{11}B , Mo , Cu の各核種については十分なデータが得られない等の理由からそれぞれ ^{10}B , ^{19}B , Nb , Ni のルジャンドル係数で代用し、天然タンゲステンについては W-184 のデータで代表させた。コンクリートと SUS に対しては Table 5 に示した物質密度を重みにして平均化したものをライブラリに収納した。水素は例外的に対象となる全エネルギー領域にわたり重心系で等方散乱を仮定することができるため P_0 の係数である 1.0 だけを考慮すれば良い。

4.4 2次ガンマ線生成マトリックス

2次ガンマ線生成マトリックスは、ENDF/B-IV ライブラリに photon production yield または photon production cross section の形式で与えられる2次ガンマ線生成確率データと群定数化された2次ガンマ線生成反応断面積とから計算し、生成ガンマ線が属するエネルギー群巾あたりの断面積の形でライブラリに収納される。したがってこのマトリックスを PALLASコードに使用するには散乱マトリックスの場合と同様、単位エネルギー巾あたりの値 (MeV^{-1}) に変換する必要がある。なお本ライブラリで考慮した2次ガンマ線生成核反応の種類は、①中性子捕獲、②非弾性散乱、③ $(n, 2n')$ 、④核分裂の各反応である。

5. ライブラリ構成

すでに述べたように本ライブラリではエネルギー構造としてレサジー巾の違いにより5種類の構造を考慮し、それぞれの構造に対応するファイルを内部のデータ構成を共通にして作成した。さらにそれぞれの構造に対して無限希釈断面積と実効断面積とが独立に作成されたので合計10種類のファイルが用意されたことになる。ただし混合物質に対しては実効断面積のみ作成されている。無限希釈断面積ファイルには単一核種のデータのみ含まれている。

核種毎のデータ構成は最初に核種の識別番号 (ID No) があり、つづいて微視的断面積 ($\sigma_t, \sigma_c, \sigma_s$)、ルジャンドル係数、散乱マトリックス、2次ガンマ線生成マトリックスの順に核定数が収納される。ただし水素の場合のみ例外的に、識別番号につづいて微視的断面積、2次ガンマ線生成マトリックスのみが収納されている。したがってPALLASコードのユーザーはエネルギー構造および断面積の種類組合せから決まるファイルを指定し、必要な核種の識別番号をカードから入力することにより容易にライブラリデータを参照することが可能である。Table 6に、FACOM-M200で計算し原研計算センターのディスクに登録してある10種類のファイルリストを、Table 7には核種名、物質名と共にエネルギー構造別の核種識別番号 (ID No) を示す。同表で単一核種の識別番号は4桁の数字で定義され、それぞれの数字の持つ意味は次の通りである。

X YY Z

X : レサジー巾の識別

1 : $\Delta u = 0.1$ レサジ.

2 : $\Delta u = 0.2$ レサジ.

4 : $\Delta u = 0.4$ レサジ.

8 : $\Delta u = 0.8$ レサジ.

5 : $\Delta u = 0.05$ レサジ.

YY : 原子番号

Z : 質量数末尾1桁の数字 (天然元素の場合0)

混合物質の識別番号は4桁の数字で定義され、それぞれの数字の持つ意味は次の通りである。

X YYY

X : レサジー巾の識別 (同上)

YYY : 任意の3桁の数字

以下にファイル内部のデータ構成を示す。データはカードイメージ (LRECL=80, BLKSIZE=3200) で構成されており、内容、FORMAT、配列の順序は以下に示す通りである。

Rec. #1 4H*****

(A4)

データブロックの始まりを示す記号.

- Rec. # 2 IDNO, TITLE (I6, 12A4)
 IDNO: 核種識別番号 (cf. Table7).
 TITLE: タイトル
- Rec. # 3 NGN, NGG, JAM, JBM, JFMU, LP, JPM (7I6)
 NGN : 中性子エネルギーメッシュ数.
 NGG : 2次ガンマ線エネルギーメッシュ数.
 JAM : 散乱により減速される確率がゼロである下限のエネルギーメッシュ点.
 JBM : 非弾性散乱, ($n, 2n'$) 反応ともに起らない, しきいエネルギーメッシュ点.
 JFMU : 弾性散乱角度分布の非等方性を考慮する必要のある下限のエネルギーメッシュ点.
 LP : ルジャンドル係数を与える最大項数 (P_0 をデータとして含むため, P_L まで考慮すると $LP=L+1$ となる).
 JPM : 2次ガンマ線生成反応を考慮する必要のある下限の中性子エネルギーメッシュ点 ($JPM=NGN$ に設定してある).
- Rec. # 4 SIGT(I), I=1, NGN (6E12.5)
 SIGT: 全断面積 (σ_t)
- Rec. # 5 SIGC(I), I=1, NGN (6E12.5)
 SIGC: 中性子捕獲断面積 (σ_c)
- Rec. # 6 SIGS(I), I=1, NGN (6E12.5)
 SIGS: 弾性散乱断面積 (σ_s)
- Rec. # 7 [JFMU > 0]
 (CL(I, J), J=1, LP), I=1, JFMU (6E12.5)
 CL: ルジャンドル係数
- Rec. # 8 [JAM > 0 and JBM > 0]
 (SCT(I, J), J=1, JAM), I=1, JBM (6E12.5)
 SCT: 散乱マトリックス
- Rec. # 9 [JPM > 0]
 (SCG(I, J), J=1, NGG), I=1, JPM (6E12.5)
 SCG: 2次ガンマ線生成マトリックス

6. PALLAS 群定数処理コードシステム

本ライブラリ作成のため PALLAS コード専用の群定数処理コードシステム NJOY-PALLAS を作成した。NJOY-PALLAS は汎用群定数処理コード NJOY および NJOY で計算された無限希釈断面積を処理して PALLAS コードに適合した形式でライブラリデータを作成するコード群から構成されている。群定数処理コードとして NJOY を採用した理由は、本コードが 2 次ガンマ線生成データを ENDF/B-IV から参照して処理できるため、中性子-ガンマ線結合定数を作成する際に、同じく ENDF/B-IV から作成した中性子定数との整合がとれるためである。本コードシステムのフローチャートを Fig. 1 に示す。

フローチャートに従って PALLAS ライブラリを作成するための各処理ステップを順を追って以下に記述する。

- i) NJOY コード(1)により、ENDF/B-IV ファイル(A)から参照した核データを用いて、与えられたエネルギー構造に対して群定数を計算し、混合物質を除くすべての単一核種毎の群定数ファイル群(B)を作成する。ただしオリジナルの NJOY に含まれるモジュールのうちで HEATR, THERMR, GAMINR, ERRORR は本システムでは考慮していない。
- ii) PREPALIB(2) により、ステップ i) で作成した群定数ファイルを入力として、カードで入力する核種識別番号およびルジャンドル係数とともに 5 章で述べたファイル構成にしたがって PALLAS 用無限希釈断面積ライブラリ(C)を作成する。なおルジャンドル係数のエネルギー点に関する内挿計算はこの PREPALIB の中で行う。
- iii) RIFF コードを用いて、0.0021 レサジーの群巾を持つ等レサジー群構造で均質無限媒質に対する減速方程式を計算し、得られた超微細群スペクトルを用いて $T = 300^\circ\text{K}$ における核種毎および混合物質の構成核種毎の自己遮蔽因子(f)のテーブル(D)を作成する。
- iv) ステップ ii) で作成した無限希釈断面積ライブラリ(C)とステップ iii) で作成した自己遮蔽因子テーブル(D)を用いて、SELS(4)により無限希釈断面積(C)と同一のファイル構成で実効断面積ライブラリ(E)を作成する。ライブラリ(E)を作成する過程で混合物質に対する核定数が計算されライブラリ(E)に収納される。

以上のステップをふんで最終的に無限希釈断面積ライブラリ(C)と実効断面積ライブラリ(E)が作成されることになる。フローチャートから明らかな様にライブラリ(C)には単一核種のデータだけが含まれており、ライブラリ(E)にはすべての単一核種および混合物質のデータが収納されているため使用に際しては両者の違いに注意することが必要である。

謝 辞

本ライブラリの作成にあたってNJOYコードを提供していただき、またその使用に関して有益な助言をいただいた炉設計研究室の関泰氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 笹本宣雄, 田中俊一, 竹内清: 「PALLASコード用多群中性子群定数ライブラリ」, JAERI-M 7445 (1977) .
- 2) Takeuchi K.: "PALLAS-PL, SP A One Dimensional Transport Code", Papers of Ship Research Institute No42 (1973) .
- 3) Takeuchi K. and Sasamoto N.: "PALLAS-2DCY: A Code for Direct Integration of Transport Equation in Two-Dimensional (R, Z) Geometry", JAERI-M 9014 (1980) .
- 4) MacFarlane R.E. et al. : "The NJOY Nuclear Data Processing System: User's Manual", LA-7584-M (1978) .
- 5) Koyama K. et al. : "RADHEAT-V3, A Code System for Generating Coupled Neutron and Gamma-ray Group Constants and Analyzing Radiation Transport", JAERI-M 7155 (1977) .
- 6) 中川正幸: 私信
- 7) 小山謹二, 他: 「遮蔽材料の群定数 - 中性子100群・ガンマ線20群・P₀ 近似 - 」, JAERI-M 6928 (1977) .

謝 辞

本ライブラリの作成にあたってNJOYコードを提供していただき、またその使用に関して有益な助言をいただいた炉設計研究室の関泰氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 笹本宣雄, 田中俊一, 竹内清: 「PALLASコード用多群中性子群定数ライブラリ」, JAERI-M 7445 (1977).
- 2) Takeuchi K.: "PALLAS-PL, SP A One Dimensional Transport Code", Papers of Ship Research Institute No42 (1973).
- 3) Takeuchi K. and Sasamoto N.: "PALLAS-2DCY: A Code for Direct Integration of Transport Equation in Two-Dimensional (R, Z) Geometry", JAERI-M 9014 (1980).
- 4) MacFarlane R.E. et al.: "The NJOY Nuclear Data Processing System: User's Manual", LA-7584-M (1978).
- 5) Koyama K. et al.: "RADHEAT-V3, A Code System for Generating Coupled Neutron and Gamma-ray Group Constants and Analyzing Radiation Transport", JAERI-M 7155 (1977).
- 6) 中川正幸: 私信
- 7) 小山謹二, 他: 「遮蔽材料の群定数-中性子100群・ガンマ線20群・P₀近似-」, JAERI-M 6928 (1977).

Table 1 Energy Mesh Structures Used in the PALLAS Library

| No | Lethargy width | Energy meshes | Energy range (eV) |
|----|----------------|---------------|--|
| 1 | 0.05 | 100 | 1.42×10^7 *) — 1.00×10^5 |
| 2 | 0.1 | 172 | 1.42×10^7 — thermal |
| 3 | 0.2 | 88 | 1.42×10^7 — thermal |
| 4 | 0.4 | 45 | 1.42×10^7 — thermal |
| 5 | 0.8 | 23 | 1.42×10^7 — thermal |

*) read as 1.42×10^7

Table 3 Gamma-ray Energy Structure

| No | Energy (MeV) | Width*) (MeV) | No | Energy (MeV) | Width*) (MeV) |
|----|--------------|---------------|----|--------------|----------------------|
| 1 | 13.0 | 3.0 | 14 | 0.24 | 0.08 |
| 2 | 10.0 | 2.5 | 15 | 0.18 | 0.045 |
| 3 | 8.0 | 1.5 | 16 | 0.15 | 0.0275 |
| 4 | 7.0 | 1.0 | 17 | 0.125 | 0.021 |
| 5 | 6.0 | 1.0 | 18 | 0.108 | 0.0155 |
| 6 | 5.0 | 1.0 | 19 | 0.094 | 0.0125 |
| 7 | 4.0 | 1.0 | 20 | 0.083 | 9.5×10^{-3} |
| 8 | 3.0 | 1.0 | 21 | 0.075 | 7.5×10^{-3} |
| 9 | 2.0 | 0.75 | 22 | 0.068 | 6.5×10^{-3} |
| 10 | 1.5 | 0.5 | 23 | 0.062 | 5.0×10^{-3} |
| 11 | 1.0 | 0.5 | 24 | 0.058 | 5.0×10^{-3} |
| 12 | 0.5 | 0.33 | 25 | 0.052 | 6.0×10^{-3} |
| 13 | 0.34 | 0.13 | | | |

*) $\Delta E_i = (E_{i+1} - E_{i-1}) / 2.0$

Table 2.1 Energy Meshes for 0.05 Lethargy-width Structure

| 0.05 LETHARGY WIDTH STRUCTURE | | | |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| GROUP | ENERGY MESH (EV) | UPPER BOUND. (EV) | LOWER BOUND. (EV) |
| 1 | 1.4200E+07 | 1.4559E+07 | 1.3849E+07 |
| 2 | 1.3507E+07 | 1.3849E+07 | 1.3174E+07 |
| 3 | 1.2849E+07 | 1.3174E+07 | 1.2531E+07 |
| 4 | 1.2222E+07 | 1.2531E+07 | 1.1920E+07 |
| 5 | 1.1626E+07 | 1.1920E+07 | 1.1339E+07 |
| 6 | 1.1059E+07 | 1.1339E+07 | 1.0786E+07 |
| 7 | 1.0520E+07 | 1.0786E+07 | 1.0260E+07 |
| 8 | 1.0007E+07 | 1.0260E+07 | 9.7595E+06 |
| 9 | 9.5185E+06 | 9.7595E+06 | 9.2835E+06 |
| 10 | 9.0543E+06 | 9.2835E+06 | 8.8308E+06 |
| 11 | 8.6127E+06 | 8.8308E+06 | 8.4001E+06 |
| 12 | 8.1927E+06 | 8.4001E+06 | 7.9904E+06 |
| 13 | 7.7931E+06 | 7.9904E+06 | 7.6007E+06 |
| 14 | 7.4131E+06 | 7.6007E+06 | 7.2300E+06 |
| 15 | 7.0515E+06 | 7.2300E+06 | 6.8774E+06 |
| 16 | 6.7076E+06 | 6.8774E+06 | 6.5420E+06 |
| 17 | 6.3805E+06 | 6.5420E+06 | 6.2229E+06 |
| 18 | 6.0693E+06 | 6.2229E+06 | 5.9194E+06 |
| 19 | 5.7733E+06 | 5.9194E+06 | 5.6307E+06 |
| 20 | 5.4917E+06 | 5.6307E+06 | 5.3561E+06 |
| 21 | 5.2239E+06 | 5.3561E+06 | 5.0949E+06 |
| 22 | 4.9691E+06 | 5.0949E+06 | 4.8464E+06 |
| 23 | 4.7268E+06 | 4.8464E+06 | 4.6101E+06 |
| 24 | 4.4962E+06 | 4.6101E+06 | 4.3852E+06 |
| 25 | 4.2770E+06 | 4.3852E+06 | 4.1714E+06 |
| 26 | 4.0684E+06 | 4.1714E+06 | 3.9679E+06 |
| 27 | 3.8700E+06 | 3.9679E+06 | 3.7744E+06 |
| 28 | 3.6812E+06 | 3.7744E+06 | 3.5903E+06 |
| 29 | 3.5017E+06 | 3.5903E+06 | 3.4152E+06 |
| 30 | 3.3309E+06 | 3.4152E+06 | 3.2487E+06 |
| 31 | 3.1684E+06 | 3.2487E+06 | 3.0902E+06 |
| 32 | 3.0139E+06 | 3.0902E+06 | 2.9395E+06 |
| 33 | 2.8669E+06 | 2.9395E+06 | 2.7961E+06 |
| 34 | 2.7271E+06 | 2.7961E+06 | 2.6598E+06 |
| 35 | 2.5941E+06 | 2.6598E+06 | 2.5301E+06 |
| 36 | 2.4676E+06 | 2.5301E+06 | 2.4067E+06 |
| 37 | 2.3472E+06 | 2.4067E+06 | 2.2893E+06 |
| 38 | 2.2328E+06 | 2.2893E+06 | 2.1776E+06 |
| 39 | 2.1239E+06 | 2.1776E+06 | 2.0714E+06 |
| 40 | 2.0203E+06 | 2.0714E+06 | 1.9704E+06 |
| 41 | 1.9218E+06 | 1.9704E+06 | 1.8743E+06 |
| 42 | 1.8280E+06 | 1.8743E+06 | 1.7829E+06 |
| 43 | 1.7389E+06 | 1.7829E+06 | 1.6959E+06 |
| 44 | 1.6541E+06 | 1.6959E+06 | 1.6132E+06 |
| 45 | 1.5734E+06 | 1.6132E+06 | 1.5346E+06 |
| 46 | 1.4967E+06 | 1.5346E+06 | 1.4597E+06 |
| 47 | 1.4237E+06 | 1.4597E+06 | 1.3885E+06 |
| 48 | 1.3542E+06 | 1.3885E+06 | 1.3208E+06 |
| 49 | 1.2882E+06 | 1.3208E+06 | 1.2564E+06 |
| 50 | 1.2254E+06 | 1.2564E+06 | 1.1951E+06 |

Table 2.1 (continued)

| | | | |
|-----|------------|------------|------------|
| 51 | 1.1656E+06 | 1.1951E+06 | 1.1368E+06 |
| 52 | 1.1088E+06 | 1.1368E+06 | 1.0814E+06 |
| 53 | 1.0547E+06 | 1.0814E+06 | 1.0286E+06 |
| 54 | 1.0032E+06 | 1.0286E+06 | 9.7848E+05 |
| 55 | 9.5432E+05 | 9.7848E+05 | 9.3076E+05 |
| 56 | 9.0778E+05 | 9.3076E+05 | 8.8536E+05 |
| 57 | 8.6350E+05 | 8.8536E+05 | 8.4218E+05 |
| 58 | 8.2139E+05 | 8.4218E+05 | 8.0111E+05 |
| 59 | 7.8133E+05 | 8.0111E+05 | 7.6204E+05 |
| 60 | 7.4322E+05 | 7.6204E+05 | 7.2487E+05 |
| 61 | 7.0698E+05 | 7.2487E+05 | 6.8952E+05 |
| 62 | 6.7250E+05 | 6.8952E+05 | 6.5589E+05 |
| 63 | 6.3970E+05 | 6.5589E+05 | 6.2390E+05 |
| 64 | 6.0850E+05 | 6.2390E+05 | 5.9348E+05 |
| 65 | 5.7882E+05 | 5.9348E+05 | 5.6453E+05 |
| 66 | 5.5059E+05 | 5.6453E+05 | 5.3700E+05 |
| 67 | 5.2374E+05 | 5.3700E+05 | 5.1081E+05 |
| 68 | 4.9820E+05 | 5.1081E+05 | 4.8590E+05 |
| 69 | 4.7390E+05 | 4.8590E+05 | 4.6220E+05 |
| 70 | 4.5079E+05 | 4.6220E+05 | 4.3966E+05 |
| 71 | 4.2880E+05 | 4.3966E+05 | 4.1822E+05 |
| 72 | 4.0789E+05 | 4.1822E+05 | 3.9782E+05 |
| 73 | 3.8800E+05 | 3.9782E+05 | 3.7842E+05 |
| 74 | 3.6907E+05 | 3.7842E+05 | 3.5996E+05 |
| 75 | 3.5107E+05 | 3.5996E+05 | 3.4241E+05 |
| 76 | 3.3395E+05 | 3.4241E+05 | 3.2571E+05 |
| 77 | 3.1767E+05 | 3.2571E+05 | 3.0982E+05 |
| 78 | 3.0217E+05 | 3.0982E+05 | 2.9471E+05 |
| 79 | 2.8744E+05 | 2.9471E+05 | 2.8034E+05 |
| 80 | 2.7342E+05 | 2.8034E+05 | 2.6667E+05 |
| 81 | 2.6008E+05 | 2.6667E+05 | 2.5366E+05 |
| 82 | 2.4740E+05 | 2.5366E+05 | 2.4129E+05 |
| 83 | 2.3533E+05 | 2.4129E+05 | 2.2952E+05 |
| 84 | 2.2385E+05 | 2.2952E+05 | 2.1833E+05 |
| 85 | 2.1294E+05 | 2.1833E+05 | 2.0768E+05 |
| 86 | 2.0255E+05 | 2.0768E+05 | 1.9755E+05 |
| 87 | 1.9267E+05 | 1.9755E+05 | 1.8792E+05 |
| 88 | 1.8328E+05 | 1.8792E+05 | 1.7875E+05 |
| 89 | 1.7434E+05 | 1.7875E+05 | 1.7003E+05 |
| 90 | 1.6584E+05 | 1.7003E+05 | 1.6174E+05 |
| 91 | 1.5775E+05 | 1.6174E+05 | 1.5385E+05 |
| 92 | 1.5005E+05 | 1.5385E+05 | 1.4635E+05 |
| 93 | 1.4274E+05 | 1.4635E+05 | 1.3921E+05 |
| 94 | 1.3577E+05 | 1.3921E+05 | 1.3242E+05 |
| 95 | 1.2915E+05 | 1.3242E+05 | 1.2596E+05 |
| 96 | 1.2285E+05 | 1.2596E+05 | 1.1982E+05 |
| 97 | 1.1686E+05 | 1.1982E+05 | 1.1398E+05 |
| 98 | 1.1116E+05 | 1.1398E+05 | 1.0842E+05 |
| 99 | 1.0574E+05 | 1.0842E+05 | 1.0313E+05 |
| 100 | 1.0058E+05 | 1.0313E+05 | 9.8101E+04 |

Table 2.2 Energy Meshes for 0.1 Lethargy-width Structure

| 0.1 LETHARGY WIDTH STRUCTURE | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| GROUP | ENERGY MESH (EV) | UPPER BOUND. (EV) | LOWER BOUND. (EV) |
| 1 | 1.4200E+07 | 1.4928E+07 | 1.3507E+07 |
| 2 | 1.2849E+07 | 1.3507E+07 | 1.2222E+07 |
| 3 | 1.1626E+07 | 1.2222E+07 | 1.1059E+07 |
| 4 | 1.0520E+07 | 1.1059E+07 | 1.0007E+07 |
| 5 | 9.5185E+06 | 1.0007E+07 | 9.0543E+06 |
| 6 | 8.6127E+06 | 9.0543E+06 | 8.1927E+06 |
| 7 | 7.7931E+06 | 8.1927E+06 | 7.4130E+06 |
| 8 | 7.0515E+06 | 7.4131E+06 | 6.7076E+06 |
| 9 | 6.3805E+06 | 6.7076E+06 | 6.0693E+06 |
| 10 | 5.7733E+06 | 6.0693E+06 | 5.4917E+06 |
| 11 | 5.2239E+06 | 5.4917E+06 | 4.9691E+06 |
| 12 | 4.7268E+06 | 4.9691E+06 | 4.4962E+06 |
| 13 | 4.2770E+06 | 4.4962E+06 | 4.0684E+06 |
| 14 | 3.8700E+06 | 4.0684E+06 | 3.6812E+06 |
| 15 | 3.5017E+06 | 3.6812E+06 | 3.3309E+06 |
| 16 | 3.1684E+06 | 3.3309E+06 | 3.0139E+06 |
| 17 | 2.8669E+06 | 3.0139E+06 | 2.7271E+06 |
| 18 | 2.5941E+06 | 2.7271E+06 | 2.4676E+06 |
| 19 | 2.3472E+06 | 2.4676E+06 | 2.2328E+06 |
| 20 | 2.1239E+06 | 2.2328E+06 | 2.0203E+06 |
| 21 | 1.9218E+06 | 2.0203E+06 | 1.8280E+06 |
| 22 | 1.7389E+06 | 1.8280E+06 | 1.6541E+06 |
| 23 | 1.5734E+06 | 1.6541E+06 | 1.4967E+06 |
| 24 | 1.4237E+06 | 1.4967E+06 | 1.3542E+06 |
| 25 | 1.2882E+06 | 1.3542E+06 | 1.2254E+06 |
| 26 | 1.1656E+06 | 1.2254E+06 | 1.1088E+06 |
| 27 | 1.0547E+06 | 1.1088E+06 | 1.0032E+06 |
| 28 | 9.5432E+05 | 1.0032E+06 | 9.0778E+05 |
| 29 | 8.6350E+05 | 9.0778E+05 | 8.2139E+05 |
| 30 | 7.8133E+05 | 8.2139E+05 | 7.4322E+05 |
| 31 | 7.0698E+05 | 7.4322E+05 | 6.7250E+05 |
| 32 | 6.3970E+05 | 6.7250E+05 | 6.0850E+05 |
| 33 | 5.7882E+05 | 6.0850E+05 | 5.5059E+05 |
| 34 | 5.2374E+05 | 5.5059E+05 | 4.9820E+05 |
| 35 | 4.7390E+05 | 4.9820E+05 | 4.5079E+05 |
| 36 | 4.2880E+05 | 4.5079E+05 | 4.0789E+05 |
| 37 | 3.8800E+05 | 4.0789E+05 | 3.6907E+05 |
| 38 | 3.5107E+05 | 3.6907E+05 | 3.3395E+05 |
| 39 | 3.1766E+05 | 3.3395E+05 | 3.0217E+05 |
| 40 | 2.8743E+05 | 3.0217E+05 | 2.7342E+05 |
| 41 | 2.6008E+05 | 2.7342E+05 | 2.4740E+05 |
| 42 | 2.3533E+05 | 2.4740E+05 | 2.2385E+05 |
| 43 | 2.1294E+05 | 2.2385E+05 | 2.0255E+05 |
| 44 | 1.9267E+05 | 2.0255E+05 | 1.8328E+05 |
| 45 | 1.7434E+05 | 1.8328E+05 | 1.6584E+05 |
| 46 | 1.5775E+05 | 1.6584E+05 | 1.5005E+05 |
| 47 | 1.4274E+05 | 1.5005E+05 | 1.3577E+05 |
| 48 | 1.2915E+05 | 1.3577E+05 | 1.2285E+05 |
| 49 | 1.1686E+05 | 1.2285E+05 | 1.1116E+05 |
| 50 | 1.0574E+05 | 1.1116E+05 | 1.0058E+05 |

Table 2.2 (continued)

| | | | |
|-----|------------|------------|------------|
| 51 | 9.5679E+04 | 1.0058E+05 | 9.1012E+04 |
| 52 | 8.6574E+04 | 9.1013E+04 | 8.2351E+04 |
| 53 | 7.8335E+04 | 8.2351E+04 | 7.4515E+04 |
| 54 | 7.0881E+04 | 7.4515E+04 | 6.7424E+04 |
| 55 | 6.4135E+04 | 6.7424E+04 | 6.1007E+04 |
| 56 | 5.8032E+04 | 6.1007E+04 | 5.5202E+04 |
| 57 | 5.2510E+04 | 5.5202E+04 | 4.9949E+04 |
| 58 | 4.7513E+04 | 4.9949E+04 | 4.5195E+04 |
| 59 | 4.2991E+04 | 4.5195E+04 | 4.0895E+04 |
| 60 | 3.8900E+04 | 4.0895E+04 | 3.7003E+04 |
| 61 | 3.5198E+04 | 3.7003E+04 | 3.3482E+04 |
| 62 | 3.1849E+04 | 3.3482E+04 | 3.0295E+04 |
| 63 | 2.8818E+04 | 3.0295E+04 | 2.7412E+04 |
| 64 | 2.6075E+04 | 2.7412E+04 | 2.4804E+04 |
| 65 | 2.3594E+04 | 2.4804E+04 | 2.2443E+04 |
| 66 | 2.1349E+04 | 2.2443E+04 | 2.0308E+04 |
| 67 | 1.9317E+04 | 2.0308E+04 | 1.8375E+04 |
| 68 | 1.7479E+04 | 1.8375E+04 | 1.6626E+04 |
| 69 | 1.5816E+04 | 1.6626E+04 | 1.5044E+04 |
| 70 | 1.4311E+04 | 1.5044E+04 | 1.3613E+04 |
| 71 | 1.2949E+04 | 1.3613E+04 | 1.2317E+04 |
| 72 | 1.1716E+04 | 1.2317E+04 | 1.1145E+04 |
| 73 | 1.0601E+04 | 1.1145E+04 | 1.0084E+04 |
| 74 | 9.5926E+03 | 1.0084E+04 | 9.1248E+03 |
| 75 | 8.6798E+03 | 9.1248E+03 | 8.2565E+03 |
| 76 | 7.8538E+03 | 8.2565E+03 | 7.4708E+03 |
| 77 | 7.1064E+03 | 7.4708E+03 | 6.7598E+03 |
| 78 | 6.4301E+03 | 6.7598E+03 | 6.1165E+03 |
| 79 | 5.8182E+03 | 6.1165E+03 | 5.5345E+03 |
| 80 | 5.2645E+03 | 5.5345E+03 | 5.0078E+03 |
| 81 | 4.7636E+03 | 5.0078E+03 | 4.5312E+03 |
| 82 | 4.3102E+03 | 4.5312E+03 | 4.1000E+03 |
| 83 | 3.9001E+03 | 4.1000E+03 | 3.7099E+03 |
| 84 | 3.5289E+03 | 3.7099E+03 | 3.3568E+03 |
| 85 | 3.1931E+03 | 3.3568E+03 | 3.0374E+03 |
| 86 | 2.8892E+03 | 3.0374E+03 | 2.7483E+03 |
| 87 | 2.6143E+03 | 2.7483E+03 | 2.4868E+03 |
| 88 | 2.3655E+03 | 2.4868E+03 | 2.2501E+03 |
| 89 | 2.1404E+03 | 2.2501E+03 | 2.0360E+03 |
| 90 | 1.9367E+03 | 2.0360E+03 | 1.8423E+03 |
| 91 | 1.7524E+03 | 1.8423E+03 | 1.6669E+03 |
| 92 | 1.5857E+03 | 1.6670E+03 | 1.5083E+03 |
| 93 | 1.4348E+03 | 1.5083E+03 | 1.3648E+03 |
| 94 | 1.2982E+03 | 1.3648E+03 | 1.2349E+03 |
| 95 | 1.1747E+03 | 1.2349E+03 | 1.1174E+03 |
| 96 | 1.0629E+03 | 1.1174E+03 | 1.0111E+03 |
| 97 | 9.6175E+02 | 1.0111E+03 | 9.1484E+02 |
| 98 | 8.7022E+02 | 9.1484E+02 | 8.2778E+02 |
| 99 | 7.8741E+02 | 8.2778E+02 | 7.4901E+02 |
| 100 | 7.1248E+02 | 7.4901E+02 | 6.7773E+02 |

Table 2.2 (continued)

| | | | |
|-----|------------|------------|------------|
| 101 | 6.4468E+02 | 6.7773E+02 | 6.1324E+02 |
| 102 | 5.8333E+02 | 6.1324E+02 | 5.5488E+02 |
| 103 | 5.2782E+02 | 5.5488E+02 | 5.0208E+02 |
| 104 | 4.7759E+02 | 5.0208E+02 | 4.5430E+02 |
| 105 | 4.3214E+02 | 4.5430E+02 | 4.1106E+02 |
| 106 | 3.9102E+02 | 4.1106E+02 | 3.7195E+02 |
| 107 | 3.5381E+02 | 3.7195E+02 | 3.3655E+02 |
| 108 | 3.2014E+02 | 3.3655E+02 | 3.0452E+02 |
| 109 | 2.8967E+02 | 3.0452E+02 | 2.7554E+02 |
| 110 | 2.6211E+02 | 2.7554E+02 | 2.4932E+02 |
| 111 | 2.3716E+02 | 2.4932E+02 | 2.2560E+02 |
| 112 | 2.1459E+02 | 2.2560E+02 | 2.0413E+02 |
| 113 | 1.9417E+02 | 2.0413E+02 | 1.8470E+02 |
| 114 | 1.7570E+02 | 1.8470E+02 | 1.6713E+02 |
| 115 | 1.5898E+02 | 1.6713E+02 | 1.5122E+02 |
| 116 | 1.4385E+02 | 1.5122E+02 | 1.3683E+02 |
| 117 | 1.3016E+02 | 1.3683E+02 | 1.2381E+02 |
| 118 | 1.1777E+02 | 1.2381E+02 | 1.1203E+02 |
| 119 | 1.0656E+02 | 1.1203E+02 | 1.0137E+02 |
| 120 | 9.6424E+01 | 1.0137E+02 | 9.1721E+01 |
| 121 | 8.7248E+01 | 9.1721E+01 | 8.2992E+01 |
| 122 | 7.8945E+01 | 8.2993E+01 | 7.5095E+01 |
| 123 | 7.1432E+01 | 7.5095E+01 | 6.7948E+01 |
| 124 | 6.4635E+01 | 6.7949E+01 | 6.1482E+01 |
| 125 | 5.8484E+01 | 6.1482E+01 | 5.5632E+01 |
| 126 | 5.2918E+01 | 5.5632E+01 | 5.0337E+01 |
| 127 | 4.7882E+01 | 5.0337E+01 | 4.5547E+01 |
| 128 | 4.3326E+01 | 4.5547E+01 | 4.1213E+01 |
| 129 | 3.9203E+01 | 4.1213E+01 | 3.7291E+01 |
| 130 | 3.5472E+01 | 3.7291E+01 | 3.3742E+01 |
| 131 | 3.2097E+01 | 3.3742E+01 | 3.0531E+01 |
| 132 | 2.9042E+01 | 3.0531E+01 | 2.7626E+01 |
| 133 | 2.6278E+01 | 2.7626E+01 | 2.4997E+01 |
| 134 | 2.3778E+01 | 2.4997E+01 | 2.2618E+01 |
| 135 | 2.1515E+01 | 2.2618E+01 | 2.0466E+01 |
| 136 | 1.9468E+01 | 2.0466E+01 | 1.8518E+01 |
| 137 | 1.7615E+01 | 1.8518E+01 | 1.6756E+01 |
| 138 | 1.5939E+01 | 1.6756E+01 | 1.5161E+01 |
| 139 | 1.4422E+01 | 1.5161E+01 | 1.3719E+01 |
| 140 | 1.3050E+01 | 1.3719E+01 | 1.2413E+01 |
| 141 | 1.1808E+01 | 1.2413E+01 | 1.1232E+01 |
| 142 | 1.0684E+01 | 1.1232E+01 | 1.0163E+01 |
| 143 | 9.6673E+00 | 1.0163E+01 | 9.1958E+00 |
| 144 | 8.7473E+00 | 9.1958E+00 | 8.3207E+00 |
| 145 | 7.9149E+00 | 8.3207E+00 | 7.5289E+00 |
| 146 | 7.1617E+00 | 7.5289E+00 | 6.8124E+00 |
| 147 | 6.4802E+00 | 6.8124E+00 | 6.1641E+00 |
| 148 | 5.8635E+00 | 6.1641E+00 | 5.5776E+00 |
| 149 | 5.3055E+00 | 5.5775E+00 | 5.0468E+00 |
| 150 | 4.8006E+00 | 5.0468E+00 | 4.5665E+00 |

Table 2.2 (continued)

| | | | |
|-----|------------|------------|------------|
| 151 | 4.3438E+00 | 4.5665E+00 | 4.1320E+00 |
| 152 | 3.9304E+00 | 4.1319E+00 | 3.7387E+00 |
| 153 | 3.5564E+00 | 3.7387E+00 | 3.3830E+00 |
| 154 | 3.2180E+00 | 3.3830E+00 | 3.0610E+00 |
| 155 | 2.9117E+00 | 3.0610E+00 | 2.7697E+00 |
| 156 | 2.6346E+00 | 2.7697E+00 | 2.5062E+00 |
| 157 | 2.3839E+00 | 2.5062E+00 | 2.2677E+00 |
| 158 | 2.1571E+00 | 2.2677E+00 | 2.0519E+00 |
| 159 | 1.9518E+00 | 2.0519E+00 | 1.8566E+00 |
| 160 | 1.7661E+00 | 1.8566E+00 | 1.6799E+00 |
| 161 | 1.5980E+00 | 1.6799E+00 | 1.5201E+00 |
| 162 | 1.4459E+00 | 1.5201E+00 | 1.3754E+00 |
| 163 | 1.3083E+00 | 1.3754E+00 | 1.2445E+00 |
| 164 | 1.1838E+00 | 1.2445E+00 | 1.1261E+00 |
| 165 | 1.0712E+00 | 1.1261E+00 | 1.0189E+00 |
| 166 | 9.6924E-01 | 1.0189E+00 | 9.2197E-01 |
| 167 | 8.7701E-01 | 9.2197E-01 | 8.3424E-01 |
| 168 | 7.9355E-01 | 8.3423E-01 | 7.5484E-01 |
| 169 | 7.1803E-01 | 7.5484E-01 | 6.8301E-01 |
| 170 | 6.4970E-01 | 6.8301E-01 | 6.1802E-01 |
| 171 | 5.8787E-01 | 6.1801E-01 | 5.5920E-01 |
| 172 | 5.3193E-01 | 5.5921E-01 | 0.0 |

Table 2.3 Energy Meshes for 0.2 Lethargy-width Structure

| 0.2 LETHARGY WIDTH STRUCTURE | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| GROUP | ENERGY MESH (EV) | UPPER BOUND. (EV) | LOWER BOUND. (EV) |
| 1 | 1.4200E+07 | 1.5693E+07 | 1.2849E+07 |
| 2 | 1.1626E+07 | 1.2849E+07 | 1.0520E+07 |
| 3 | 9.5185E+06 | 1.0520E+07 | 8.6127E+06 |
| 4 | 7.7931E+06 | 8.6127E+06 | 7.0515E+06 |
| 5 | 6.3805E+06 | 7.0515E+06 | 5.7733E+06 |
| 6 | 5.2239E+06 | 5.7733E+06 | 4.7268E+06 |
| 7 | 4.2770E+06 | 4.7268E+06 | 3.8700E+06 |
| 8 | 3.5017E+06 | 3.8700E+06 | 3.1684E+06 |
| 9 | 2.8669E+06 | 3.1685E+06 | 2.5941E+06 |
| 10 | 2.3472E+06 | 2.5941E+06 | 2.1239E+06 |
| 11 | 1.9218E+06 | 2.1239E+06 | 1.7389E+06 |
| 12 | 1.5734E+06 | 1.7389E+06 | 1.4237E+06 |
| 13 | 1.2882E+06 | 1.4237E+06 | 1.1656E+06 |
| 14 | 1.0547E+06 | 1.1656E+06 | 9.5432E+05 |
| 15 | 8.6350E+05 | 9.5432E+05 | 7.8133E+05 |
| 16 | 7.0698E+05 | 7.8133E+05 | 6.3970E+05 |
| 17 | 5.7882E+05 | 6.3970E+05 | 5.2374E+05 |
| 18 | 4.7390E+05 | 5.2374E+05 | 4.2880E+05 |
| 19 | 3.8800E+05 | 4.2880E+05 | 3.5107E+05 |
| 20 | 3.1767E+05 | 3.5107E+05 | 2.8744E+05 |
| 21 | 2.6008E+05 | 2.8744E+05 | 2.3533E+05 |
| 22 | 2.1294E+05 | 2.3533E+05 | 1.9267E+05 |
| 23 | 1.7434E+05 | 1.9267E+05 | 1.5775E+05 |
| 24 | 1.4274E+05 | 1.5775E+05 | 1.2915E+05 |
| 25 | 1.1686E+05 | 1.2915E+05 | 1.0574E+05 |
| 26 | 9.5679E+04 | 1.0574E+05 | 8.6574E+04 |
| 27 | 7.8335E+04 | 8.6574E+04 | 7.0881E+04 |
| 28 | 6.4135E+04 | 7.0881E+04 | 5.8032E+04 |
| 29 | 5.2510E+04 | 5.8032E+04 | 4.7513E+04 |
| 30 | 4.2991E+04 | 4.7513E+04 | 3.8900E+04 |
| 31 | 3.5198E+04 | 3.8900E+04 | 3.1849E+04 |
| 32 | 2.8818E+04 | 3.1849E+04 | 2.6076E+04 |
| 33 | 2.3594E+04 | 2.6076E+04 | 2.1349E+04 |
| 34 | 1.9317E+04 | 2.1349E+04 | 1.7479E+04 |
| 35 | 1.5816E+04 | 1.7479E+04 | 1.4311E+04 |
| 36 | 1.2949E+04 | 1.4311E+04 | 1.1717E+04 |
| 37 | 1.0602E+04 | 1.1717E+04 | 9.5927E+03 |
| 38 | 8.6798E+03 | 9.5927E+03 | 7.8538E+03 |
| 39 | 7.1064E+03 | 7.8538E+03 | 6.4301E+03 |
| 40 | 5.8182E+03 | 6.4302E+03 | 5.2646E+03 |
| 41 | 4.7636E+03 | 5.2646E+03 | 4.3103E+03 |
| 42 | 3.9001E+03 | 4.3103E+03 | 3.5289E+03 |
| 43 | 3.1931E+03 | 3.5289E+03 | 2.8893E+03 |
| 44 | 2.6143E+03 | 2.8893E+03 | 2.3655E+03 |
| 45 | 2.1404E+03 | 2.3655E+03 | 1.9367E+03 |
| 46 | 1.7524E+03 | 1.9367E+03 | 1.5857E+03 |
| 47 | 1.4348E+03 | 1.5857E+03 | 1.2982E+03 |
| 48 | 1.1747E+03 | 1.2982E+03 | 1.0629E+03 |
| 49 | 9.6175E+02 | 1.0629E+03 | 8.7023E+02 |
| 50 | 7.8741E+02 | 8.7023E+02 | 7.1248E+02 |

Table 2.3 (continued)

| | | | |
|----|------------|------------|------------|
| 51 | 6.4468E+02 | 7.1248E+02 | 5.8333E+02 |
| 52 | 5.2782E+02 | 5.8333E+02 | 4.7759E+02 |
| 53 | 4.3214E+02 | 4.7759E+02 | 3.9102E+02 |
| 54 | 3.5381E+02 | 3.9102E+02 | 3.2014E+02 |
| 55 | 2.8967E+02 | 3.2014E+02 | 2.6211E+02 |
| 56 | 2.3716E+02 | 2.6211E+02 | 2.1460E+02 |
| 57 | 1.9417E+02 | 2.1460E+02 | 1.7570E+02 |
| 58 | 1.5898E+02 | 1.7570E+02 | 1.4385E+02 |
| 59 | 1.3016E+02 | 1.4385E+02 | 1.1777E+02 |
| 60 | 1.0656E+02 | 1.1777E+02 | 9.6424E+01 |
| 61 | 8.7248E+01 | 9.6424E+01 | 7.8945E+01 |
| 62 | 7.1433E+01 | 7.8945E+01 | 6.4635E+01 |
| 63 | 5.8484E+01 | 6.4635E+01 | 5.2919E+01 |
| 64 | 4.7883E+01 | 5.2919E+01 | 4.3326E+01 |
| 65 | 3.9203E+01 | 4.3326E+01 | 3.5472E+01 |
| 66 | 3.2097E+01 | 3.5472E+01 | 2.9042E+01 |
| 67 | 2.6279E+01 | 2.9042E+01 | 2.3778E+01 |
| 68 | 2.1515E+01 | 2.3778E+01 | 1.9468E+01 |
| 69 | 1.7615E+01 | 1.9468E+01 | 1.5939E+01 |
| 70 | 1.4422E+01 | 1.5939E+01 | 1.3050E+01 |
| 71 | 1.1808E+01 | 1.3050E+01 | 1.0684E+01 |
| 72 | 9.6673E+00 | 1.0684E+01 | 8.7474E+00 |
| 73 | 7.9150E+00 | 8.7474E+00 | 7.1617E+00 |
| 74 | 6.4802E+00 | 7.1617E+00 | 5.8635E+00 |
| 75 | 5.3056E+00 | 5.8635E+00 | 4.8007E+00 |
| 76 | 4.3438E+00 | 4.8007E+00 | 3.9304E+00 |
| 77 | 3.5564E+00 | 3.9304E+00 | 3.2180E+00 |
| 78 | 2.9117E+00 | 3.2180E+00 | 2.6347E+00 |
| 79 | 2.3839E+00 | 2.6347E+00 | 2.1571E+00 |
| 80 | 1.9518E+00 | 2.1571E+00 | 1.7661E+00 |
| 81 | 1.5980E+00 | 1.7661E+00 | 1.4459E+00 |
| 82 | 1.3083E+00 | 1.4459E+00 | 1.1838E+00 |
| 83 | 1.0712E+00 | 1.1838E+00 | 9.6924E-01 |
| 84 | 8.7701E-01 | 9.6924E-01 | 7.9355E-01 |
| 85 | 7.1804E-01 | 7.9355E-01 | 6.4971E-01 |
| 86 | 5.8788E-01 | 6.4971E-01 | 5.3194E-01 |
| 87 | 4.8131E-01 | 5.3193E-01 | 4.3551E-01 |
| 88 | 3.9406E-01 | 4.3551E-01 | 0.0 |

Table 2.4 Energy Meshes for 0.4 Lethargy-width Structure

| 0.4 LETHARGY WIDTH STRUCTURE | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| GROUP | ENERGY MESH (EV) | UPPER BOUND. (EV) | LOWER BOUND. (EV) |
| 1 | 1.4200E+07 | 1.7344E+07 | 1.1626E+07 |
| 2 | 9.5185E+06 | 1.1626E+07 | 7.7931E+06 |
| 3 | 6.3805E+06 | 7.7931E+06 | 5.2239E+06 |
| 4 | 4.2770E+06 | 5.2239E+06 | 3.5017E+06 |
| 5 | 2.8669E+06 | 3.5017E+06 | 2.3472E+06 |
| 6 | 1.9218E+06 | 2.3472E+06 | 1.5734E+06 |
| 7 | 1.2882E+06 | 1.5734E+06 | 1.0547E+06 |
| 8 | 8.6350E+05 | 1.0547E+06 | 7.0698E+05 |
| 9 | 5.7882E+05 | 7.0698E+05 | 4.7390E+05 |
| 10 | 3.8800E+05 | 4.7390E+05 | 3.1767E+05 |
| 11 | 2.6008E+05 | 3.1767E+05 | 2.1294E+05 |
| 12 | 1.7434E+05 | 2.1294E+05 | 1.4274E+05 |
| 13 | 1.1686E+05 | 1.4274E+05 | 9.5679E+04 |
| 14 | 7.8335E+04 | 9.5679E+04 | 6.4136E+04 |
| 15 | 5.2510E+04 | 6.4135E+04 | 4.2991E+04 |
| 16 | 3.5198E+04 | 4.2991E+04 | 2.8818E+04 |
| 17 | 2.3594E+04 | 2.8818E+04 | 1.9317E+04 |
| 18 | 1.5816E+04 | 1.9317E+04 | 1.2949E+04 |
| 19 | 1.0602E+04 | 1.2949E+04 | 8.6798E+03 |
| 20 | 7.1064E+03 | 8.6798E+03 | 5.8182E+03 |
| 21 | 4.7636E+03 | 5.8182E+03 | 3.9001E+03 |
| 22 | 3.1931E+03 | 3.9001E+03 | 2.6143E+03 |
| 23 | 2.1404E+03 | 2.6143E+03 | 1.7524E+03 |
| 24 | 1.4348E+03 | 1.7524E+03 | 1.1747E+03 |
| 25 | 9.6175E+02 | 1.1747E+03 | 7.8741E+02 |
| 26 | 6.4468E+02 | 7.8741E+02 | 5.2782E+02 |
| 27 | 4.3214E+02 | 5.2782E+02 | 3.5381E+02 |
| 28 | 2.8967E+02 | 3.5381E+02 | 2.3716E+02 |
| 29 | 1.9417E+02 | 2.3716E+02 | 1.5898E+02 |
| 30 | 1.3016E+02 | 1.5898E+02 | 1.0656E+02 |
| 31 | 8.7248E+01 | 1.0656E+02 | 7.1433E+01 |
| 32 | 5.8484E+01 | 7.1433E+01 | 4.7883E+01 |
| 33 | 3.9203E+01 | 4.7883E+01 | 3.2097E+01 |
| 34 | 2.6279E+01 | 3.2097E+01 | 2.1515E+01 |
| 35 | 1.7615E+01 | 2.1515E+01 | 1.4422E+01 |
| 36 | 1.1808E+01 | 1.4422E+01 | 9.6673E+00 |
| 37 | 7.9150E+00 | 9.6673E+00 | 6.4802E+00 |
| 38 | 5.3056E+00 | 6.4802E+00 | 4.3438E+00 |
| 39 | 3.5564E+00 | 4.3438E+00 | 2.9117E+00 |
| 40 | 2.3839E+00 | 2.9117E+00 | 1.9518E+00 |
| 41 | 1.5980E+00 | 1.9518E+00 | 1.3083E+00 |
| 42 | 1.0712E+00 | 1.3083E+00 | 8.7701E-01 |
| 43 | 7.1804E-01 | 8.7701E-01 | 5.8788E-01 |
| 44 | 4.8131E-01 | 5.8787E-01 | 3.9406E-01 |
| 45 | 3.2263E-01 | 3.9407E-01 | 0.0 |

Table 2.5 Energy Meshes for 0.8 Lethargy-width Structure

| 0.8 LETHARGY WIDTH STRUCTURE | | | |
|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| GROUP | ENERGY MESH (EV) | UPPER BOUND. (EV) | LOWER BOUND. (EV) |
| 1 | 1.4200E+07 | 2.1184E+07 | 9.5185E+06 |
| 2 | 6.3805E+06 | 9.5185E+06 | 4.2770E+06 |
| 3 | 2.8669E+06 | 4.2770E+06 | 1.9218E+06 |
| 4 | 1.2882E+06 | 1.9218E+06 | 8.6350E+05 |
| 5 | 5.7882E+05 | 8.6350E+05 | 3.8800E+05 |
| 6 | 2.6008E+05 | 3.8800E+05 | 1.7434E+05 |
| 7 | 1.1686E+05 | 1.7434E+05 | 7.8335E+04 |
| 8 | 5.2510E+04 | 7.8335E+04 | 3.5198E+04 |
| 9 | 2.3594E+04 | 3.5198E+04 | 1.5816E+04 |
| 10 | 1.0602E+04 | 1.5816E+04 | 7.1064E+03 |
| 11 | 4.7636E+03 | 7.1064E+03 | 3.1931E+03 |
| 12 | 2.1404E+03 | 3.1931E+03 | 1.4348E+03 |
| 13 | 9.6175E+02 | 1.4348E+03 | 6.4468E+02 |
| 14 | 4.3214E+02 | 6.4468E+02 | 2.8967E+02 |
| 15 | 1.9417E+02 | 2.8967E+02 | 1.3016E+02 |
| 16 | 8.7248E+01 | 1.3016E+02 | 5.8484E+01 |
| 17 | 3.9203E+01 | 5.8484E+01 | 2.6279E+01 |
| 18 | 1.7615E+01 | 2.6279E+01 | 1.1808E+01 |
| 19 | 7.9149E+00 | 1.1808E+01 | 5.3055E+00 |
| 20 | 3.5564E+00 | 5.3055E+00 | 2.3839E+00 |
| 21 | 1.5980E+00 | 2.3839E+00 | 1.0712E+00 |
| 22 | 7.1804E-01 | 1.0712E+00 | 4.8131E-01 |
| 23 | 3.2263E-01 | 4.8131E-01 | 0.0 |

Table 4 Nuclides and Mixtures in the PALLAS Library

| No | Nuclide | MAT No ¹⁾ | Mass | No | Nuclide | MAT No ¹⁾ | Mass |
|----|---------|----------------------|-------|----|----------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | H-1 | 1269 | 1.0 | 17 | Cr | 1191 | 52.0 |
| 2 | H-2 | 1120 | 2.0 | 18 | Mn-55 | 1197 | 55.0 |
| 3 | Li-6 | 1271 | 6.0 | 19 | Fe | 1192 | 55.85 |
| 4 | Li-7 | 1272 | 7.0 | 20 | Ni | 1190 | 58.71 |
| 5 | Be-9 | 1289 | 9.0 | 21 | Cu | 1295 | 63.55 |
| 6 | B-10 | 1273 | 10.0 | 22 | Zr | 1284 | 91.22 |
| 7 | B-11 | 1160 | 11.0 | 23 | Mo | 1287 | 95.94 |
| 8 | C-12 | 1274 | 12.0 | 24 | W | * ²⁾ | 183.85 |
| 9 | N-14 | 1275 | 14.0 | 25 | Pb | 1288 | 207.2 |
| 10 | O-16 | 1276 | 16.0 | 26 | U-235 | 1261 | 235.0 |
| 11 | F | 1277 | 19.0 | 27 | U-238 | 1262 | 238.0 |
| 12 | Na-23 | 1156 | 23.0 | 28 | SUS304 | | 1.0 ³⁾ |
| 13 | Mg | 1280 | 24.31 | 29 | SUS316 | | 1.0 ³⁾ |
| 14 | Al-27 | 1193 | 27.0 | 30 | O.Conc ⁴⁾ | | 1.0 ³⁾ |
| 15 | Si | 1194 | 28.09 | 31 | H.Conc ⁵⁾ | | 1.0 ³⁾ |
| 16 | Ca | 1195 | 40.08 | | | | |

1) ENDF/B-V

2) Natural tungsten {¹⁸²W (1128) /¹⁸³W (1129) /¹⁸⁴W (1130) /
¹⁸⁶W (1131) = 0.265 / 0.145 / 0.306 / 0.284 }

3) designate macroscopic data

4) ordinary concrete ($\rho=2.30$)

5) heavy concrete ($\rho=3.72$)

Table 5 Material Composition of Mixtures

| Nuclide | SUS (304) | SUS (316) | ordinary concrete ($\rho=2.30$) *) | heavy concrete ($\rho=3.72$) *) |
|---------|-----------|-----------|---|--|
| O | | | 4.393-2**) | 4.390-2 |
| Si | 2.127-3 | 2.127-3 | 1.936-2 | 3.935-3 |
| Ca | | | 2.374-3 | 2.278-3 |
| Cr | 1.741-2 | 1.558-2 | | |
| Mn | 1.734-3 | 1.734-3 | | |
| Fe | 5.787-2 | 5.574-2 | 6.791-4 | 2.360-2 |
| Ni | 8.112-3 | 9.734-3 | | |
| Mo | | 1.242-3 | | |

(10²⁴ atoms/cm³)*) hydrogen (¹H) is excluded.**) read as 4.393 × 10⁻².

Table 6 List of PALLAS Library Files

| Name of files | Cross sections | Lethargy width |
|---------------|-------------------|----------------|
| J2370.XINF005 | infinite dilution | 0.05 |
| J2370.XINF01 | infinite dilution | 0.1 |
| J2370.XINF02 | infinite dilution | 0.2 |
| J2370.XINF04 | infinite dilution | 0.4 |
| J2370.XINF08 | infinite dilution | 0.8 |
| J2370.XEFF005 | effective | 0.05 |
| J2370.XEFF01 | effective | 0.1 |
| J2370.XEFF02 | effective | 0.2 |
| J2370.XEFF04 | effective | 0.4 |
| J2370.XEFF08 | effective | 0.8 |

Table 7 List of Identification Numbers

| No | Nuclide | Identification Number | | | | |
|----|----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | $\Delta u=0.05$ | $\Delta u=0.1$ | $\Delta u=0.2$ | $\Delta u=0.4$ | $\Delta u=0.8$ |
| 1 | H-1 | 5011 | 1011 | 2011 | 4011 | 8011 |
| 2 | H-2 | 5012 | 1012 | 2012 | 4012 | 8012 |
| 3 | Li-6 | 5036 | 1036 | 2036 | 4036 | 8036 |
| 4 | Li-7 | 5037 | 1037 | 2037 | 4037 | 8037 |
| 5 | Be-9 | 5039 | 1039 | 2039 | 4039 | 8039 |
| 6 | B-10 | 5050 | 1050 | 2050 | 4050 | 8050 |
| 7 | B-11 | 5051 | 1051 | 2051 | 4051 | 8051 |
| 8 | C-12 | 5062 | 1062 | 2062 | 4062 | 8062 |
| 9 | N-14 | 5074 | 1074 | 2074 | 4074 | 8074 |
| 10 | O-16 | 5086 | 1086 | 2086 | 4086 | 8086 |
| 11 | F | 5090 | 1090 | 2090 | 4090 | 8090 |
| 12 | Na-23 | 5113 | 1113 | 2113 | 4113 | 8113 |
| 13 | Mg | 5120 | 1120 | 2120 | 4120 | 8120 |
| 14 | Al-27 | 5137 | 1137 | 2137 | 4137 | 8137 |
| 15 | Si | 5140 | 1140 | 2140 | 4140 | 8140 |
| 16 | Ca | 5200 | 1200 | 2200 | 4200 | 8200 |
| 17 | Cr | 5240 | 1240 | 2240 | 4240 | 8240 |
| 18 | Mn-55 | 5255 | 1255 | 2255 | 4255 | 8255 |
| 19 | Fe | 5260 | 1260 | 2260 | 4260 | 8260 |
| 20 | Ni | 5280 | 1280 | 2280 | 4280 | 8280 |
| 21 | Cu | 5290 | 1290 | 2290 | 4290 | 8290 |
| 22 | Zr | 5400 | 1400 | 2400 | 4400 | 8400 |
| 23 | Mo | 5420 | 1420 | 2420 | 4420 | 8420 |
| 24 | W | 5740 | 1740 | 2740 | 4740 | 8740 |
| 25 | Pb | 5820 | 1820 | 2820 | 4820 | 8820 |
| 26 | U-235 | 5925 | 1925 | 2925 | 4925 | 8925 |
| 27 | U-238 | 5928 | 1928 | 2928 | 4928 | 8928 |
| 28 | SUS (303) | 5500 | 1500 | 2500 | 4500 | 8500 |
| 29 | SUS (316) | 5510 | 1510 | 2510 | 4510 | 8510 |
| 30 | Ordinary Concrete | 5520 | 1520 | 2520 | 4520 | 8520 |
| 31 | Heavy Concrete | 5530 | 1530 | 2530 | 4530 | 8530 |

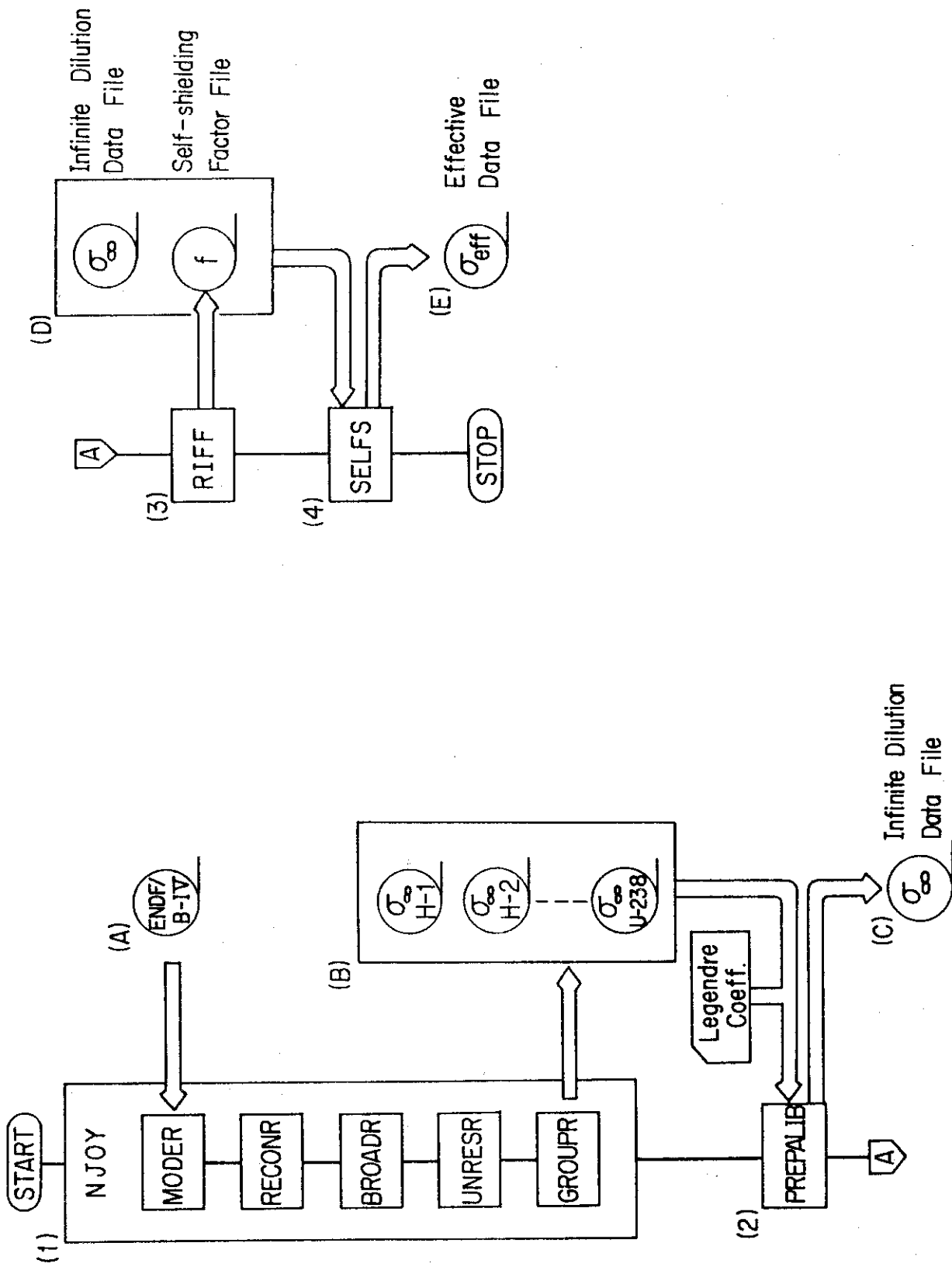


Fig. 1 Flow chart of library data processing code system NJOY-PALLAS