

JAERI - M  
84-124

14mm径球形NE213スペクトロメータの  
製作と応用

1984年7月

大山 幸夫・田中 俊一・津田 孝一  
池田裕二郎・前川 洋

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷(株)

14 mm 径球形 NE 213 スペクトロメータの製作と応用

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

大山 幸夫・田中 俊一・津田 孝一  
池田 裕二郎・前川 洋

(1984年6月13日受理)

核融合炉中性子工学実験での応用を目的とし、14 mm 直径の NE 213 スペクトロメータを開発した。このスペクトロメータは、14 MeV 中性子での速中性子スペクトルを体系内で測定するために用いる。中性子・ガンマ線弁別特性の検討から、本スペクトロメータのように小型の検出器では、検出器内で生じる反跳陽子の壁効果に注意して取り扱わなければならないことが明らかになった。中性子スペクトルをアンフォールディングによって得るために必要な応答関数行列をモンテカルロ法を利用して計算した。14 MeV に対して実験的に求めた応答関数と比較検討したところ良く一致することが分った。

本スペクトロメータを D-T 中性子場においた酸化リチウム体系内でのスペクトル測定に応用し、アンフォールディングによって得たエネルギースペクトルを輸送計算によるスペクトルと比較検討した。また、同じ体系で核分裂計数管や放射化検出器により測定した反応率の結果とも比較検討した。その結果、本スペクトロメータが核融合炉中性子工学実験で非常に有用であることが実証された。

Development of a Spherical NE213 Spectrometer  
with 14 mm Diameter

Yukio OYAMA, Shun-ichi TANAKA, Koichi TSUDA,  
Yujiro IKEDA and Hiroshi MAEKAWA

Department of Reactor Engineering  
Tokai Research Establishment, JAERI

( Received June 13, 1984 )

A 14 mm diameter spherical NE213 spectrometer has been developed for applying to fusion neutronics experiments. It is used to measure the fast neutron spectra in assemblies of various materials irradiated with 14 MeV neutrons. The characteristics of neutron gamma-ray discrimination was investigated, and it was found that the wall-escape of recoil protons produced in the detector should be treated carefully in the case of a small size detector such as this one. Response matrix for spectrum unfolding has been calculated by a Monte Carlo code. Calculated response for 14 MeV neutrons agreed well with measured one.

The present spectrometer was applied to in-system neutron spectrum measurements in a lithium-oxide assembly bombarded by D-T neutrons. The spectra obtained by unfolding were compared with the results calculated by the neutron transport code DOT3.5, and with reaction rates measured by fission counters and activation detectors. Consequently it has been demonstrated that the spectrometer is very useful for fusion neutronics experiments.

Keywords : NE213, Small Size Spherical Detector, Neutron Spectrometer,  
Response Matrix, Unfolding, Transport Calculation, Fusion  
Neutronics, Comparative Evaluations

## 目 次

|   |    |
|---|----|
| 1. はじめに                                   | 1  |
| 2. 検出器の特性                                 | 2  |
| 2.1 検出器の構造と測定回路                           | 2  |
| 2.2 中性子・ガンマ線の弁別特性                         | 2  |
| 2.3 検出感度の角度依存性                            | 3  |
| 3. 応答関数行列                                 | 10 |
| 3.1 モンテカルロ法による計算                          | 10 |
| 3.2 波高分布の較正                               | 11 |
| 3.3 測定値との比較                               | 11 |
| 4. 核融合炉中性子工学実験への応用                        | 19 |
| 4.1 実験方法                                  | 19 |
| 4.2 結果の検討                                 | 19 |
| 5. まとめ                                    | 24 |
| 謝 辞                                       | 24 |
| 参考文献                                      | 25 |
| 付 録：14 mm 径球形NE 213スペクトロメータの中性子に対する応答関数行列 | 26 |

## Contents

|  |    |
|--|----|
| 1. Introduction .....  | 1  |
| 2. Characteristics of Detector .....   | 2  |
| 2.1 Structure of Detector and Measuring Circuit .....                              | 2  |
| 2.2 Characteristics for Neutron-Gamma Ray Discrimination .....                     | 2  |
| 2.3 Angular Dependency of Detector Efficiency .....                                | 3  |
| 3. Response Matrix .....   | 10 |
| 3.1 Calculation of Response Matrix by a Monte Carlo Code .....                     | 10 |
| 3.2 Calibration of Pulse Height .....  | 11 |
| 3.3 Comparison of Response between Calculation and<br>Measurement .....            | 11 |
| 4. Application to Fusion Neutronics Experiment .....                               | 19 |
| 4.1 Experiment .....   | 19 |
| 4.2 Discussions .....  | 19 |
| 5. Summary .....   | 24 |
| Acknowledgements .....   | 24 |
| References .....   | 25 |
| Appendix : Response matrix of 14 mm diam. NE213<br>spectrometer for neutrons ..... | 26 |

## 1. はじめに

重水素，3重水素を用いる核融合炉では，d-T反応によって生じる平均14 MeVの中性子の炉内での挙動を把握することが重要である。この分野の研究は，核融合炉中性子工学と呼ばれ，とりわけ核融合炉の核的な設計に使用される種々の中性子輸送計算コードの信頼性を確立することが最も重要な研究課題であり，このため多くの実験が14 MeV中性子発生装置を用いて行われてきた。

中性子輸送計算コードを検証する上で，体系内でのエネルギスペクトル情報は最も有用な物理量であるが，検出器を体系内に持ち込みエネルギスペクトルを測定するためには幾つかの技術的制約があり，現在のところ，こうした検出器は開発途上にあるといえる。

50.8 mm径×50.8 mm高，あるいは127 mm径×127 mm高のNE 213液体シンチレーション検出器は，その優れた中性子，ガンマ線の波形弁別特性と検出効率から，核融合炉工学実験における速中性子スペクトル測定に幅広く利用されている。しかし，体系内の測定器に課せられる重要な条件は①検出器自身による中性子場の摂動が無視できること，②検出感度に指向性がないこと③空間分解能に優れていることであり，この点でこれらの検出器は適当でなく，近年，Perkinsや関本等<sup>(1)~(5)</sup>によって小型のNE 213スペクトロメータの開発が試みられている。

本研究で開発した小型NE 213スペクトロメータも基本的にはこれらの研究の延長線上に位置するものであるが，シンチレータの形状が14 mmφと小さく，かつNE 213シンチレータの充填部分がほぼ完全な球形であることその他，13 mm直径の小型の光電子増倍管を用いることで検出器全体の形状の小型化を計っている点に特徴がある。

本報告では，第2章に検出器の構造，測定回路および中性子，ガンマ線弁別特性を述べ，第3章では検出器の応答関数の計算と測定値との比較，第4章では実際の核融合炉中性子工学実験への応用例を述べ，第5章で本検出器の特性についてまとめを行っている。

## 2. 検出器の特性

### 2.1 検出器の構造と測定回路

検出器は、Fig. 2.1 に示すように NE 213 液体シンチレータを封入した球形ガラスセル、ライトガイド、光電子増倍管、磁気シールド、ケーシング等から構成されている。シンチレータを封入したガラスセルは、内径 14 mm、外径 16 mm のパイレックスガラス製で、封入口はガラスを溶融した後、保護用のアルミキャップをエポキシ樹脂で固定した。ライトガイドは直径 10 mm 厚さ 4 mm の石英製であり、片端面を凹面状に加工し、球形ガラスセルと光学接着剤（オプティカルセメント）で結合した。光電子増倍管は 13 mm 径の浜松フォトニクス社製 R 647-01 を使用し、ライトガイドとシリコングリースで接着した。ブリーダ回路と光電子増倍管は磁気シールドケースの中に納め、球形ガラスセルの外壁には反射剤として NE 560 を塗布した。ブリーダ回路、光電子増倍管等の収納の様子は、Fig. 2.2 の写真に示す。検出器全体の外径寸法は最大径 19 mm でケーブルを含まない全長は 191 mm である。

ブリーダ回路は、線型特性を良くするために高段側に高抵抗配分をもつ、いわゆるテーパブリーダ構成とし、さらに高段側から 6 ケ所に 0.01  $\mu$ F の補償用コンデンサを入れた。また、カソードに負高圧をかけアノード信号をブリーダ回路と独立に取り出し、9 段目からはダイノード信号も取り出せるようにした。負高圧は -700 から -800V の間に設定した。信号ケーブル、高圧電源用ケーブルはブリーダ回路に直付けして本体から取り出し、アノード信号を用いた測定に対しては 100 k $\Omega$  の負荷抵抗をプリアンプ入力部に取付けた。製作したスペクトロメータのブリーダ回路を Fig. 2.3 に示す。

スペクトル測定に用いる回路系のブロック図を Fig. 2.4 に示す。プリアンプは ORTEC 社のモデル 113 を使い、出力インピーダンスを使用した信号ケーブルに合わせ 50  $\Omega$  に調整した。2 ゲインの測定を同時に行うため、ORTEC 社モデル 460 のデイレイラインアンプの入力インピーダンスとの整合を考え、50  $\Omega$  信号分岐器によって 2 系統に分割した。分割した系統の片方はアンプの利得を他方の 10 倍とし、各々独立した AD 変換器（ADC）に接続した。中性子・ガンマ線の弁別には立上り時間-波高変換器（Rise time to pulse height converter）<sup>(6)</sup> を各々の系統に用意した。2 ゲイン測定を同時に行うことで、2 つの波高分布を結合する際に生じる統計上の不連続をなくし、しかも、測定波高のダイナミックレンジを拡げ、かつ測定時間を半分にする事ができた。

### 2.2 中性子・ガンマ線の弁別特性

この回路構成によって測定した 14 MeV 中性子場での中性子・ガンマ線弁別特性を Fig. 2.5 に示す。これらは Fig. 2.6 の A~D の各波高領域に対応するものである。弁別特性の指標である“Figure of Merit”，すなわち、中性子とガンマ線のピークの間隔を各ピークの半値幅の和で

割算した値は、2.5から2.8であり、ほぼ満足すべき中性子とガンマ線の分離性能を有していることを示している。また、この図において、ガンマ線と中性子とのピークの谷間に3番目のピークが存在し、それがエネルギーが高くなるとともに、中性子側に移動している様子が認められる。この現象を更に詳しく調べるため、波高とパルスの立上り時間との関係を2次元同時測定することによって、等高線図として示したのがFig. 2.6である。電気信号の波高はシンチレータでの発光量に比例するが、発光量は、荷電粒子の種類によってエネルギー依存性が異っている。Fig. 2.6の縦軸に波高値の各粒子に対応するエネルギーをVerbinski<sup>(7)</sup>のデータをもとに示してある。同一条件で得られる51.2 mm径×51.2 mm高のNE 213では10 MeV程度までの波高が検出されることに比べ、本検出器ではガンマ線による反跳電子のピークは5 MeV付近で頭うちになっており、検出器が小さいことによる検出器からの電子の逃げが起っているものと判断される。このことは、またFig. 2.5の領域Dのスペクトルにおいても、前述した第3のピークが見られることと合せ、この第3のピークは中性子による反跳陽子に寄因することを示すものである。このピークは、2次元図上では、ガンマ線による反跳電子の低エネルギー側から、反跳陽子の高エネルギー側へと斜めに横切っている。このような現象は、非常にエネルギーの高い中性子の測定で報告<sup>(8)</sup>されているような反跳陽子の壁からの逃げによる現象と類似しており、検出器が小型であることから、それよりエネルギーの小さい14 MeVでも、壁効果が顕著に表われたものと考えられる。このことは、モンテカルロ計算で求めた壁効果を受けた陽子の応答関数とこの第3のピークに対応する部分の波高分布の測定結果を比較することによっても確認された。(第3章参照)

### 2.3 検出感度の角度依存性

本検出器は等方的な感度を持つようにシンチレータ部を球形に設計しているが、光電子増倍管やケーシング等の存在のため、理想的な等方性は示さない。<sup>252</sup>Cf中性子源を用いて測定した検出感度の角度依存性をFig. 2.7に示す。実験では、<sup>252</sup>Cf中性子源を検出器から半径48 cmの円周上を移動させて、各方向での計数率の相対変化を求めた。測定結果は、0度方向で平均値より約3%程度のずれがあるものの、後方150度までの広い範囲で非常に良い等方性をもつことを示している。前方でのずれはシンチレータ溶液の封入口の影響であり、後方は光電増倍管の影響と考えられる。しかし、この結果は立体角にして90%以上の方向に対して等方であることを示しており、体系内測定においては、十分満足できるものである。

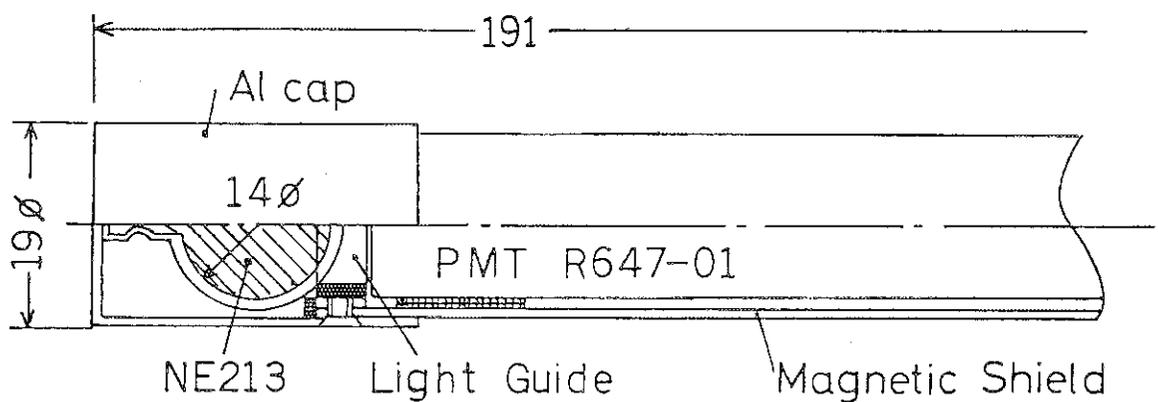


Fig. 2.1 Cross sectional view of 14 mm spherical NE213 spectrometer

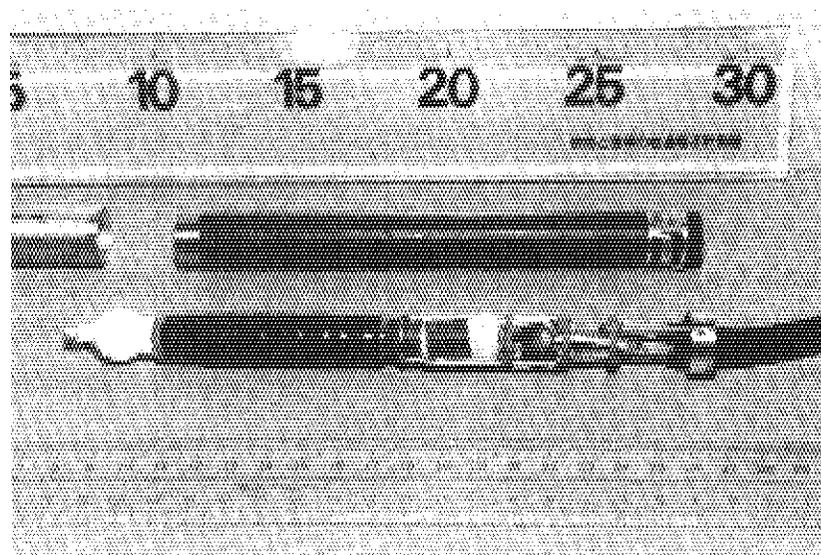


Fig. 2.2 Detector Assembly

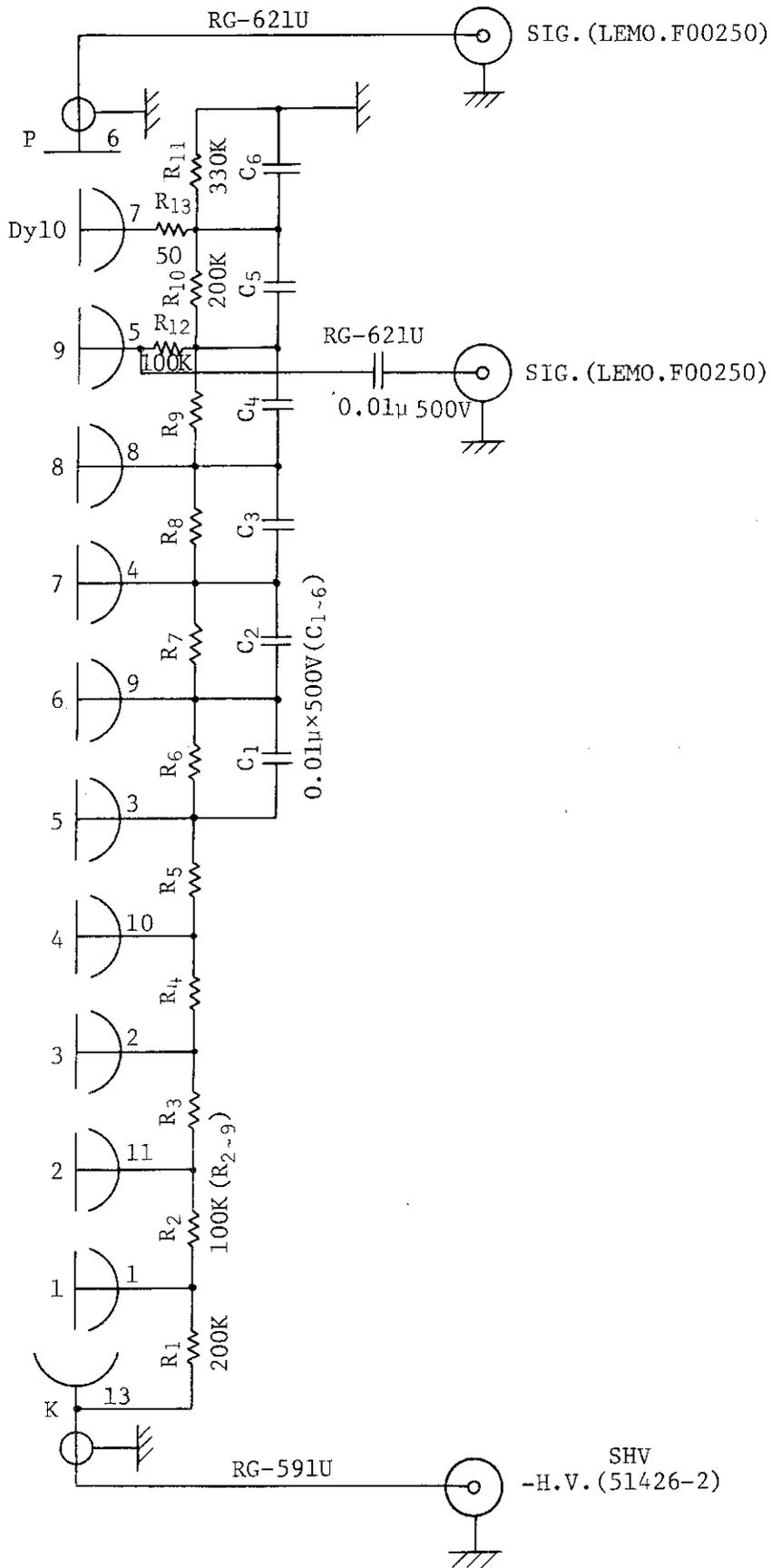


Fig. 2.3 Breeder circuit

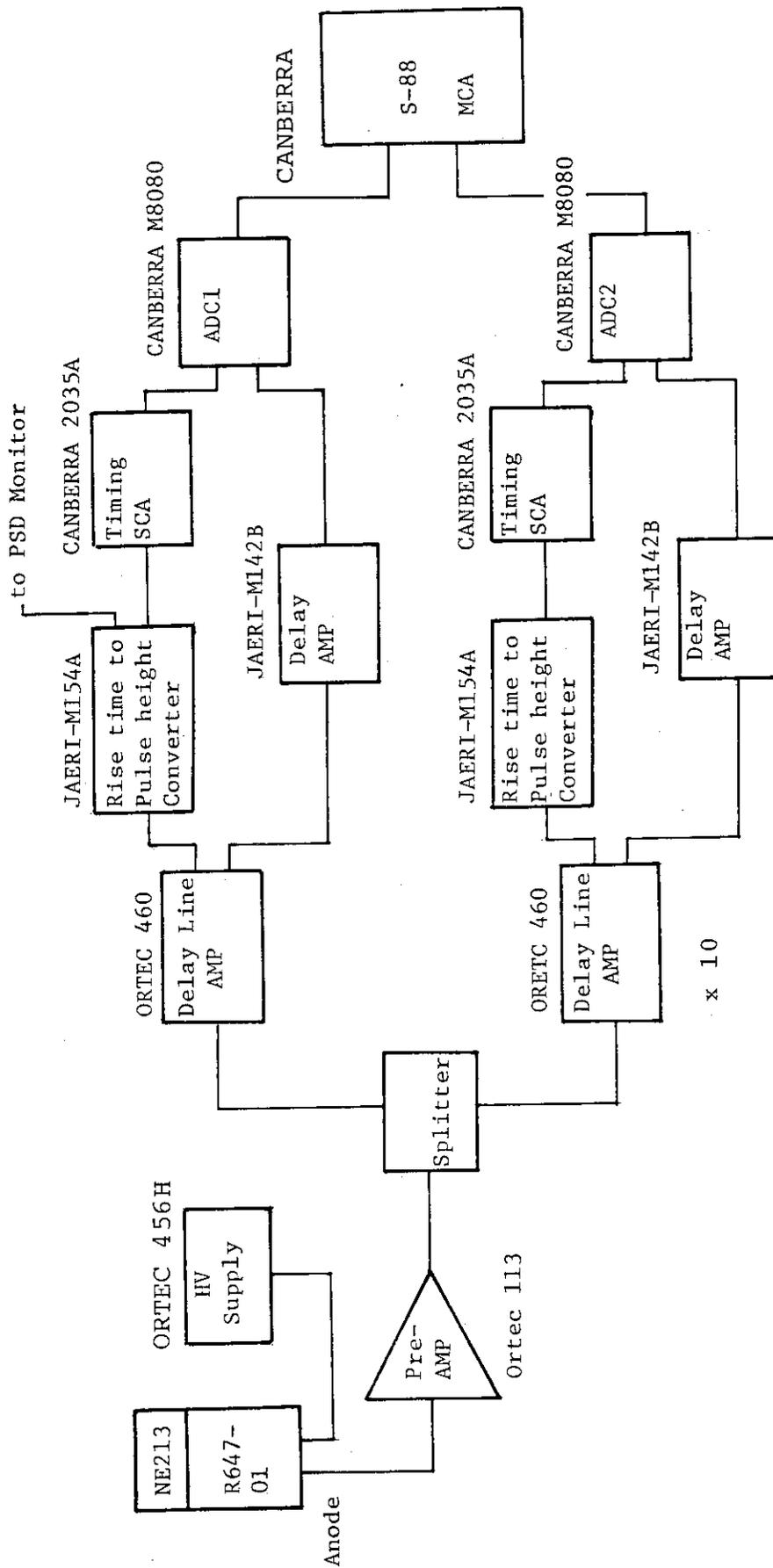
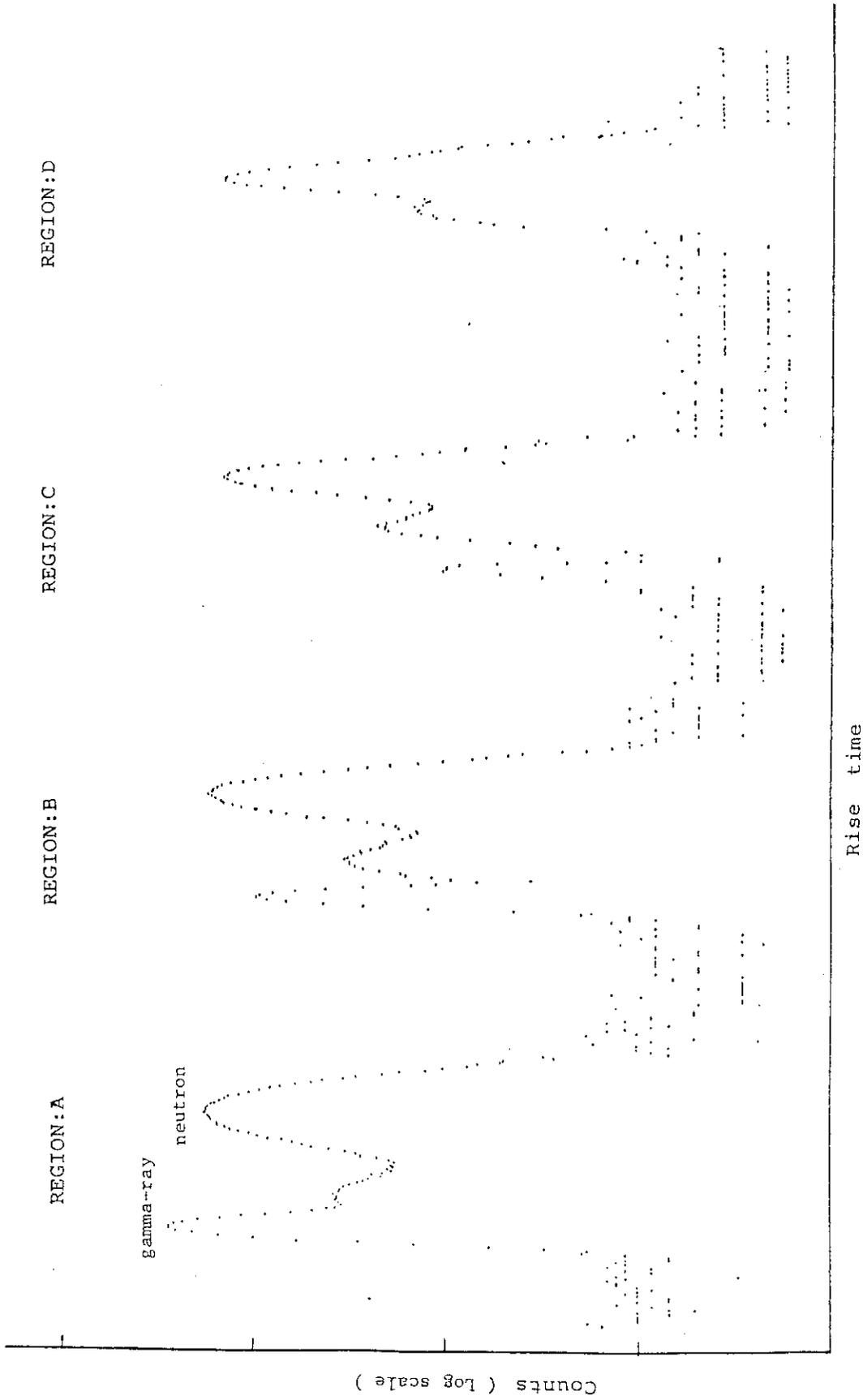


Fig. 2.4 Schematic diagram of electronic circuit



Rise time distribution for various energy range  
Fig. 2.5 Rise time distribution for several energy ranges

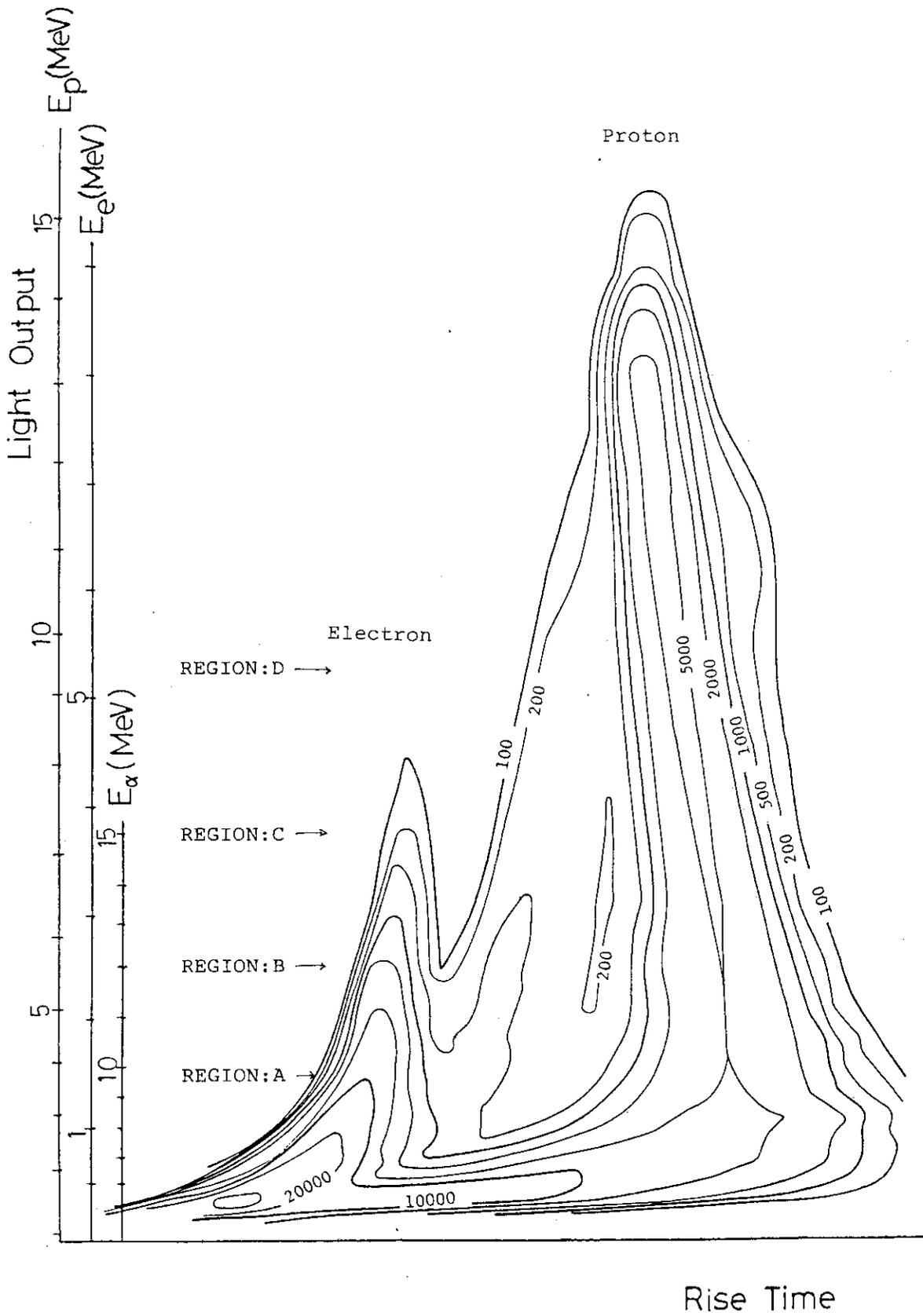


Fig. 2.6 Contour map by two dimensional analysis for neutron-gamma ray separation

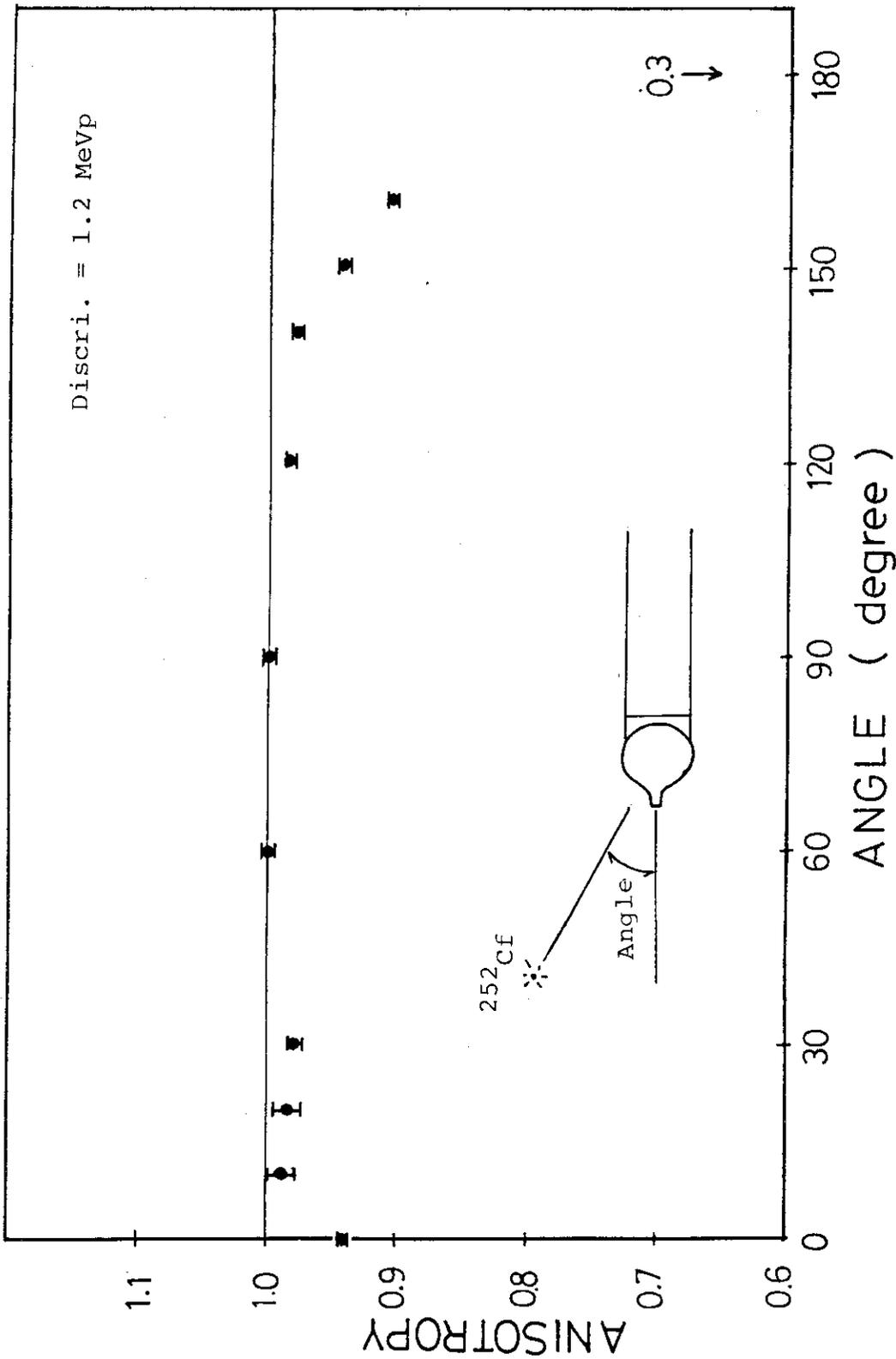


Fig. 2.7 Anisotropy of neutron response for 14 mm diameter spherical NE213 spectrometer

### 3. 応答関数行列

NE 213 液体シンチレーション検出器で得られる中性子による反跳陽子の波高分布は、通常アンフォールディング (Unfolding) と呼ばれる演算処理によって中性子のエネルギースペクトルに変換される。このアンフォールディングを可能ならしめるには種々のエネルギーの単色中性子に対して、検出器の応答関数 (レスポンス) を知る必要がある。この一種の応答関数は応答関数行列 (Response Matrix) と呼ばれ、検出器の形状、大きさ等に依存することから各検出器毎に求めなければならない。

応答関数を実験的に求めるには広い範囲でエネルギーが可変である単色中性子源が必要である。この種の実験は、大きな実験の労力を必要とするため、今までに Verbinski 等によって約 50 mm 径の円柱状の NE 213 液体シンチレータに対して行われた例<sup>(7)</sup>があるにすぎない。本検出器に対しても一般に行われているように、実験の代わりにモンテカルロ法を用いて計算によって応答関数を決定した。

#### 3.1 モンテカルロ法による計算

14 mm 径球形 NE 213 液体シンチレータの応答関数を求めるためのモンテカルロ計算は、円柱形状のシンチレータに対して作成された計算コード<sup>(9)</sup>を球形形状を扱えるように改造した SPMONT コードを用いて行った。計算に必要な陽子、 $\alpha$  粒子、反跳炭素原子等の発光効率はその検出器の形状やシンチレータの個性に依存しないという仮定のもとに Verbinski 等のデータ<sup>(7)</sup>を用いた。シンチレータの成分である水素と炭素の中性子断面積は ENDF / B-IV のデータを採用した。散乱の角度分布は、炭素の非弾性散乱については 5 次のルジャンドル係数まで考慮し、その他については重心系等方とした。

応答関数の作成は、まづ 0.2 MeV 間隔で 20 MeV まで、各エネルギー点に対し 50 万ヒストリイの計算により基準応答関数行列を作成し、これをもとに分解能とエネルギー間隔の関係を 14 MeV 中性子に対する実測波高分布のアンフォールディング処理を通して検討した。この結果、アンフォールディングにより分解能に変化を生じない最大のエネルギー間隔は 14 MeV 中性子に対し、0.6 MeV であることが分り、これをもとに、以下のエネルギー間隔は  $\Delta E / E = 1 / \sqrt{E}$  の関係式で決定した。14 MeV 中性子に対する 0.6 MeV の間隔は、アンフォールディングにおけるエネルギー分解能に相当するウィンドウ関数の約  $1/2$  の幅に相当している。なお、1 MeV 以下ではウィンドウ関数が急激に変化することから、アンフォールディングの収束性を考慮し、さらに細分化した。

一方、発光量軸の分点は上述のように決めたエネルギー分点の間隔に対応するように決めた。すなわち、各分点のエネルギーを持つ陽子の発光量に対応する点、およびその中間点を分点とした。

以上の検討結果をもとに、最終的にこれらのエネルギー分点と発光量分点に対応する応答関数行列を前述の基準応答関数行列から内挿することによって求めた。<sup>(10)</sup>ただし、アンフォールディングにおいて大きな影響を与える 14 MeV 近傍の応答関数は、基準応答関数からの内挿に依らず、

直接 100 万ヒストリィのモンテカルロ計算を行って求めた。この結果、14 MeV 近傍における応答関数の標準偏差は 4 % 以下にとどめられた。こうして最終的に得られた応答関数行列は 49 群のエネルギー、103 群の発光量から成り付録にその結果を示した。また、計算の概略の流れは Fig. 3.1 に示す通りである。

### 3.2 波高分布の較正

測定した波高分布を 3.1 節の応答関数を用いてアンフォールディングするためには、波高分布を応答関数の発光量軸に対応した分点の値に変換する必要がある。モンテカルロ計算で使った発光効率曲線は電子に対する発光量で規格化してある。一方、波高軸の較正は通常標準ガンマ線を利用して行われる。しかし、NE 213 液体シンチレータではガンマ線はほとんどコンプトン散乱を起し、単色ガンマ線に対しても反跳電子による連続的な波高分布を示す。このため、較正にはコンプトン端の  $\frac{1}{2}$  の波高値が利用されている。この  $\frac{1}{2}$  波高値は検出器の形状、分解能等に依存するため、再びモンテカルロ計算によって、そのエネルギーを決定した。本検出器に対する種々の標準ガンマ線源のコンプトン端の  $\frac{1}{2}$  波高の発光量を Na 単位 (1.25 MeV の電子に対する波高値が 1 light unit ; l.u. と略す) で表わしたのが、Table 3.1 である。ただし、 $^{241}\text{Am}$  のガンマ線については全吸収ピークの値である。これらの線源と検出器の中心の距離を 1 cm とした時、各ガンマ線で実測されたコンプトンの  $\frac{1}{2}$  波高値 (channel) とそれに相当する Table 3.1 の値の関係を示したのが Fig. 3.2 である。この図で明らかなように  $^{241}\text{Am}$  で差がある他は、すべて一直線上にあり、本検出器は最小 0.1 l.u. までは直線性が保たれていることを示している。一方、波高値の大きい領域での適当な較正線源がないため、1.3 l.u. 以上の直線性については明らかではないが、14 MeV 中性子に対する応答関数の実測値がモンテカルロ計算によるそれと比べ最大波高値である 7 l.u. 付近で約 3.6 % 低くなっている。この原因として測定系の非直線性や計算における発光効率の誤差が考えられるが、波高分布の較正は予じめ用意された応答関数と対応させるため、14 MeV で 3.6 % の差を補償するように 2 次の較正曲線を用いて行った。

### 3.3 測定値との比較

モンテカルロ計算で求めた応答関数と実際の応答関数を比較するために d-T 中性子源を用いて 14 MeV 中性子に対する応答関数を測定した。実験では FNS の加速器システムの 80° ビームラインで 350 keV に加速した重陽子を 10 Ci のトリチウムを吸蔵した空冷ターゲットに当て、半値幅 2 ns 以下のパルス中性子を発生させた。検出器はビームラインに対し 90° 方向にある 2 m のコンクリート遮蔽壁内に設けられた 36 mm 径のコリメータを通して検出部がターゲットを覗くように設置した。反応の運動学的計算から 90° 方向に放出された中性子はほぼ完全な 14 MeV 単色中性子と考えられる。さらに、ターゲットアセンブリーによる散乱中性子の影響を除くため、中性子飛行時間法を応用して、14 MeV 中性子のみが測定されるように同時計数を行った。この際、波高分布とライズタイムスペクトルとの関係を明らかにするため、中性子・ガンマ線の弁別条件を変えて 2 度の測定をした。一つは、Fig. 3.3 に示すようにガンマ線を除く、すべての領域 (B

+ C) に設定し、一方はガンマ線と中性子の谷間である領域 B に設定した。

測定結果と計算結果を比較する上で、モンテカルロ計算で得られた 14 MeV 中性子の応答関数がどのような成分から構成されているかを知るため、中性子との反応で生成される荷電粒子別に計算したのが Fig. 3.4 である。この図は  $^{12}\text{C}(n, \alpha)^9\text{Be}$  や  $^{12}\text{C}(n, n' 3\alpha)$  反応で生成される  $\alpha$  粒子による波高は 1 l.u. 以下であり、それ以上の領域における全応答関数と反跳陽子の全吸収応答関数の差異はいわゆる "wall effect (壁効果)" を受けた陽子によることを示している。次に、Fig. 3.2 の領域 B に対応する波高分布の測定値と、モンテカルロ計算において壁効果を受けた陽子と  $\alpha$  粒子の成分のみを抽出し比較したのが、Fig. 3.5 である。この図には、領域 (B+C) に対応する測定値とモンテカルロ計算による全応答関数の比較も示している。それぞれの測定値と計算値は 1 l.u. 以上でよく一致しており、これらの結果は、ライズタイム分布に見られる B 領域のピークは壁効果を受けた陽子によって形成されることを示している。そして、実際の測定では B 領域まで含めた測定をする必要があることを意味している。

さらに、全応答関数について、すなわち領域 (B+C) に対応する応答関数の測定値と計算値を詳細に比較するために対数表示したのが Fig. 3.6 である。この図は 1 l.u. 以下で測定値と計算値に大きな差異があることを示している。この領域の応答関数は主として  $^{12}\text{C}(n, \alpha)^9\text{Be}$  と  $^{12}\text{C}(n, n' 3\alpha)$  反応による  $\alpha$  粒子によって形成されるので、不一致の原因として、計算で用いた  $\alpha$  粒子の発光効率が小さく評価されていること、あるいは 3 個の  $\alpha$  粒子放出の際のエネルギー分布が正しく評価されていないこと等が考えられる。14 MeV 中性子が極端に多い中性子場で測定した場合、上記の不一致はアンフォールディング結果の 2 ~ 3 MeV 以下のエネルギー領域に誤差要因を与えることになる。Fig. 3.6 の 14 MeV 中性子に対する測定値を FORIST コード<sup>(11)</sup> でアンフォールディングした結果を Fig. 3.7 に示す。2 MeV 以下で上述した原因による振る舞いが見られるが、それ以上のエネルギー領域では非常に満足すべき結果が得られている。14 MeV のピークの半値幅も約 8% と、本検出器は従来の大型の検出器と同等の性能を有している。

Table 3.1 Calculational light unit corresponding to 1/2 Compton edge for typical standard gamma-ray sources, where detector is set at a distance of 1 cm from gamma-ray source

| Source            | $E_g$ (MeV) | $E_c$ (MeV) | L.U. of 1/2 edge     |
|-------------------|-------------|-------------|----------------------|
| $^{241}\text{Am}$ | 0.0595      | -----       | 0.048 *1             |
| $^{133}\text{Ba}$ | 0.356       | 0.183       | $0.176 \pm 0.002$ *2 |
| $^{137}\text{Cs}$ | 0.661       | 0.477       | $0.395 \pm 0.001$    |
| $^{54}\text{Mn}$  | 0.835       | 0.638       | $0.528 \pm 0.006$    |
| $^{22}\text{Na}$  | 0.511       | 0.341       | $0.285 \pm 0.003$    |
|                   | 1.274       | 1.063       | $0.860 \pm 0.002$    |
| $^{88}\text{Y}$   | 0.898       | 0.699       | $0.576 \pm 0.005$    |
|                   | 1.836       | 1.612       | $1.300 \pm 0.002$    |

\*1 full energy peak

\*2 for a 30 % change of detector resolution

RESPONSE MATRIX CALCULATION OF 14-DIA NE213 LIQUID SCINTILLATOR

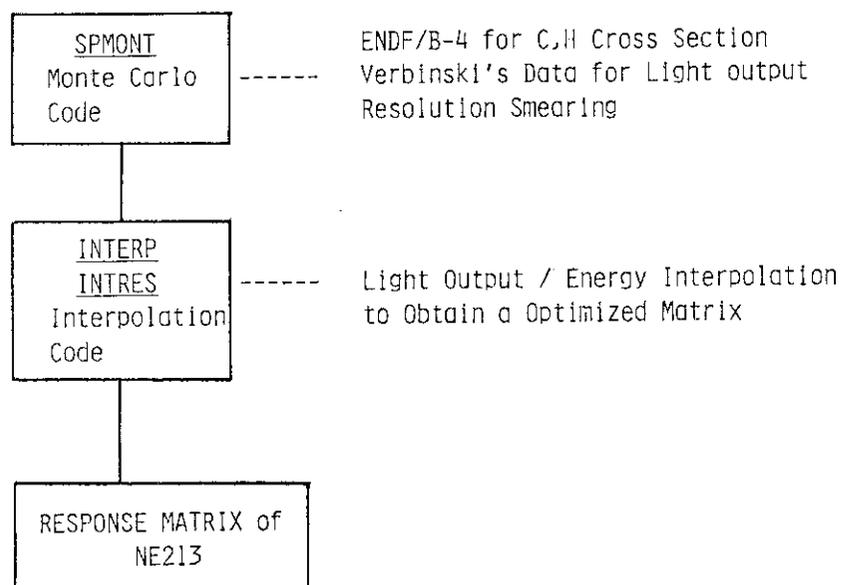


Fig. 3.1 Flow chart of response matrix calculation

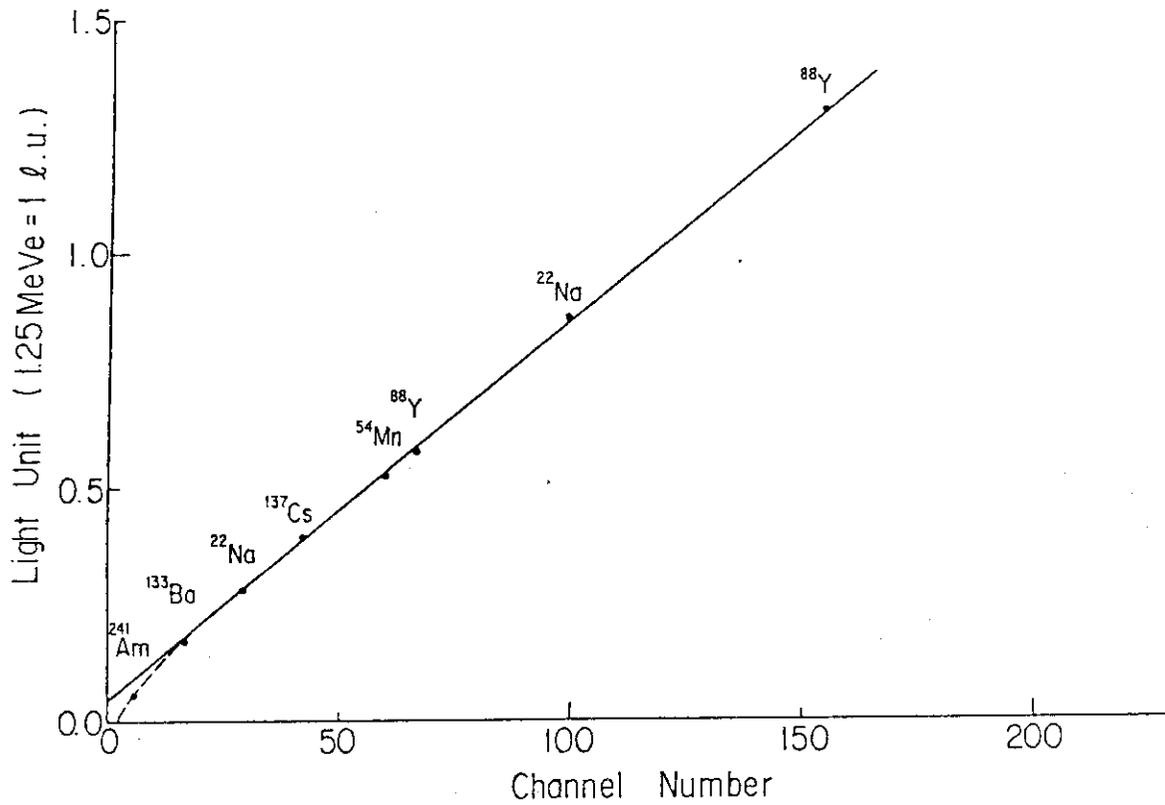


Fig. 3.2 Energy calibration curve for pulse height axis using 1/2 Compton edge for gamma-ray sources

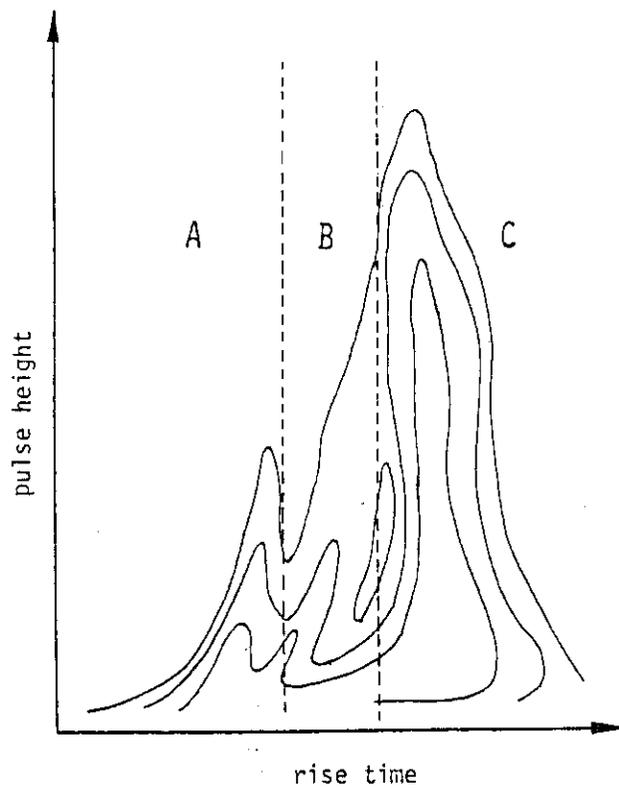


Fig. 3.3 Coincidence region for response measurements in the two dimensional map of rise time distribution

### 14 MEV RESPONSE

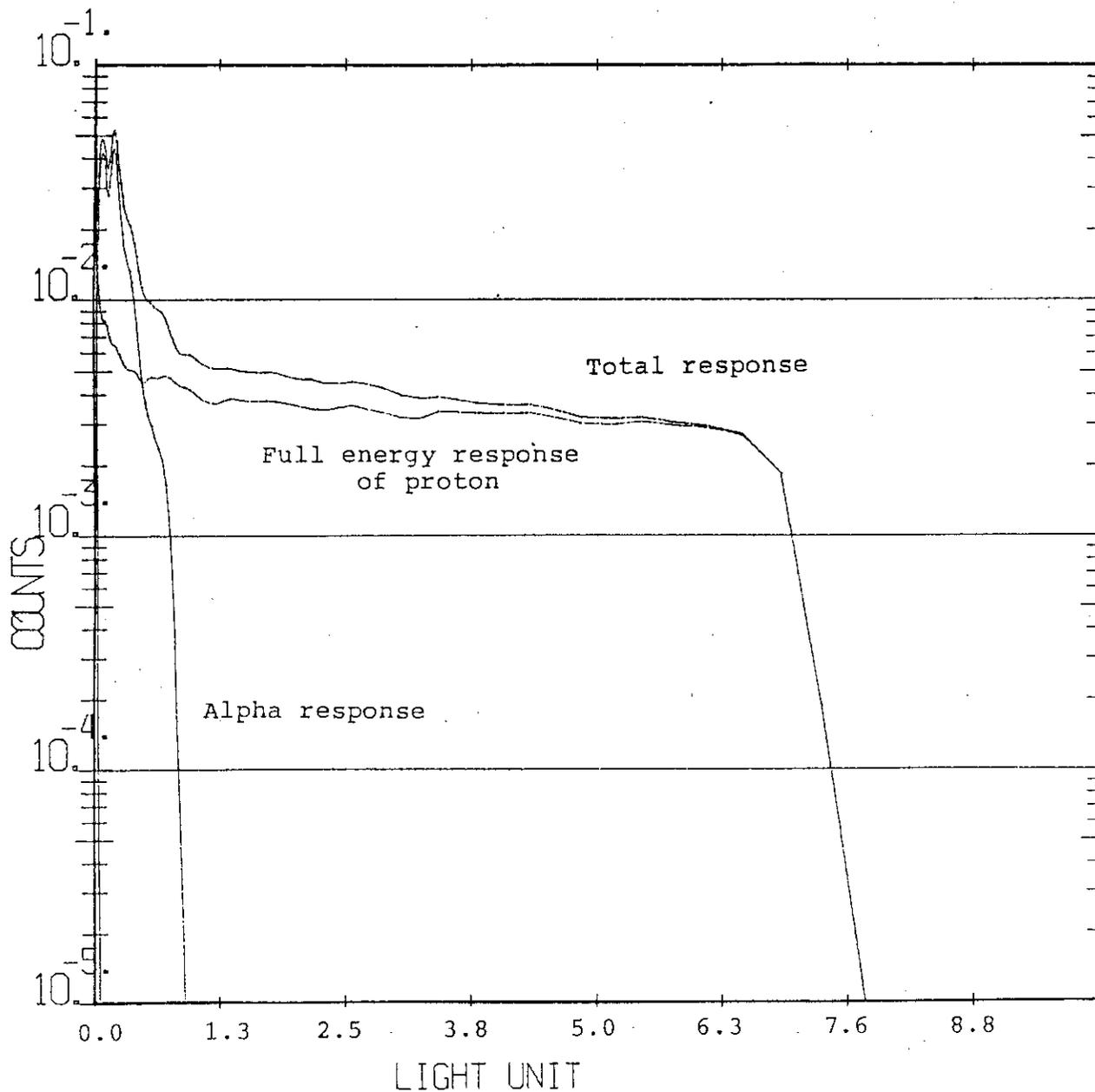


Fig. 3.4 Component analysis of response function

14 MEV RESPONSE

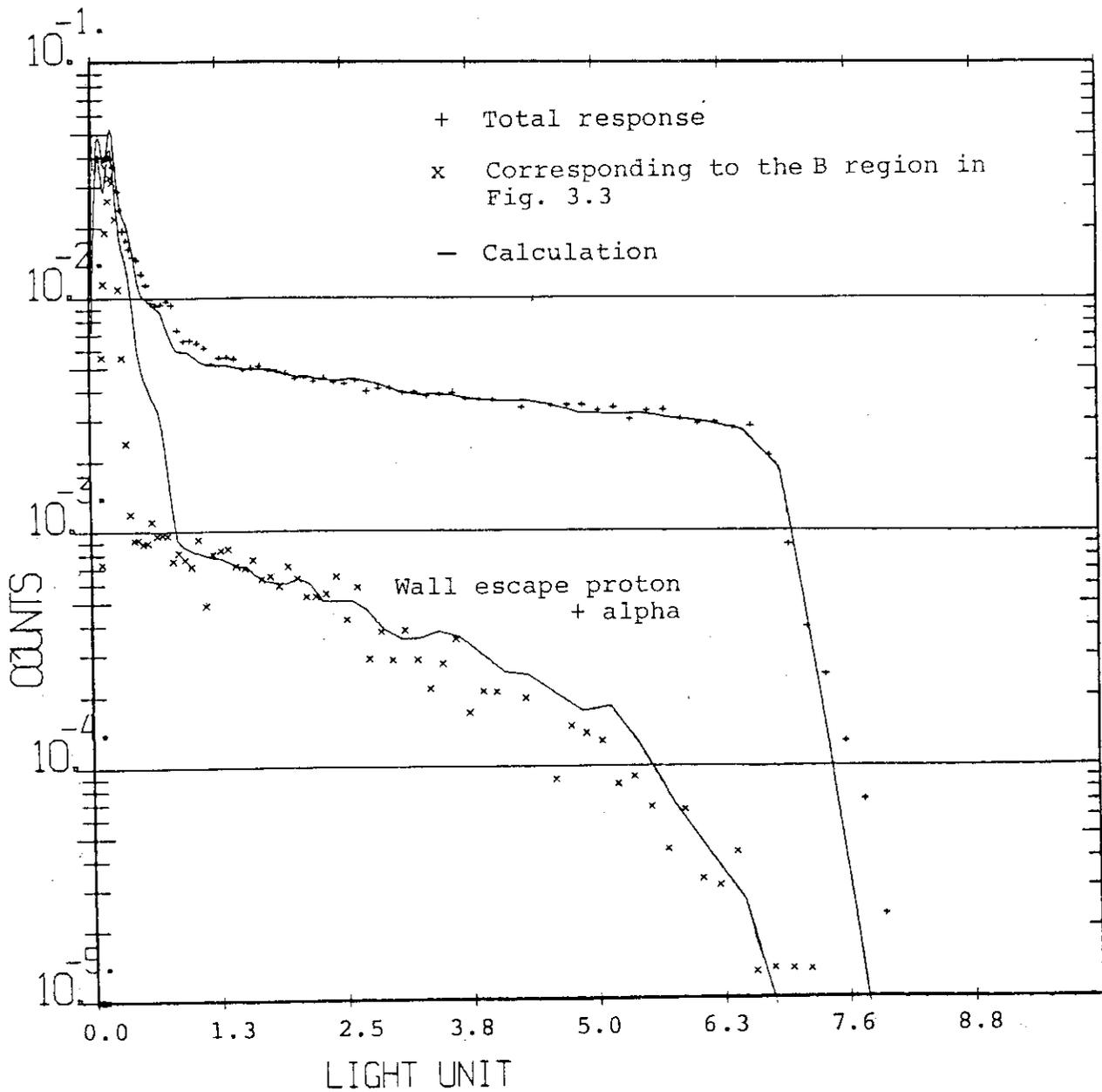


Fig. 3.5 Comparison between the calculated and measured responses of total and wall-escaped protons

14 MEV RESPONSE

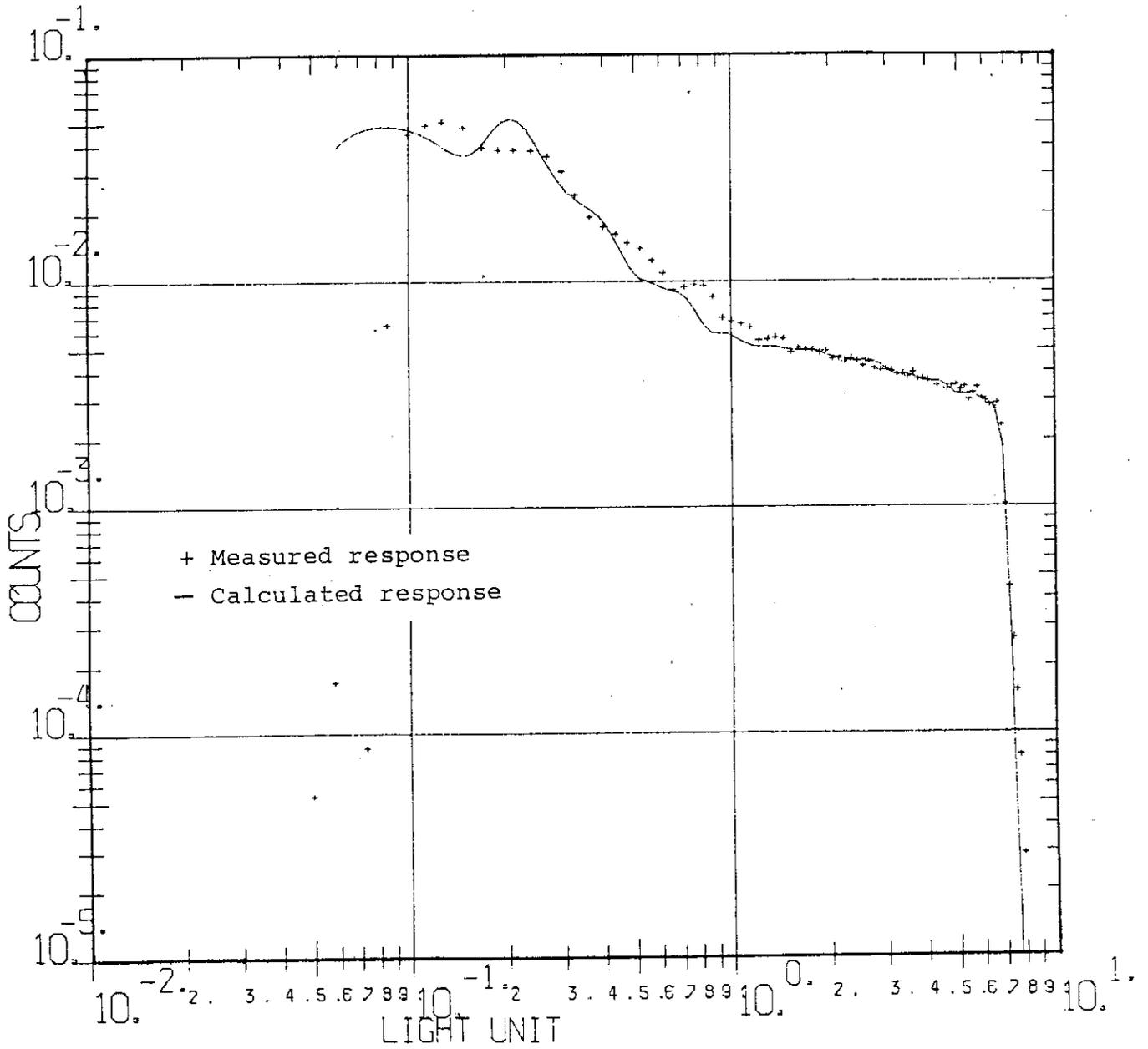


Fig. 3.6 Comparison between the calculated and measured responses

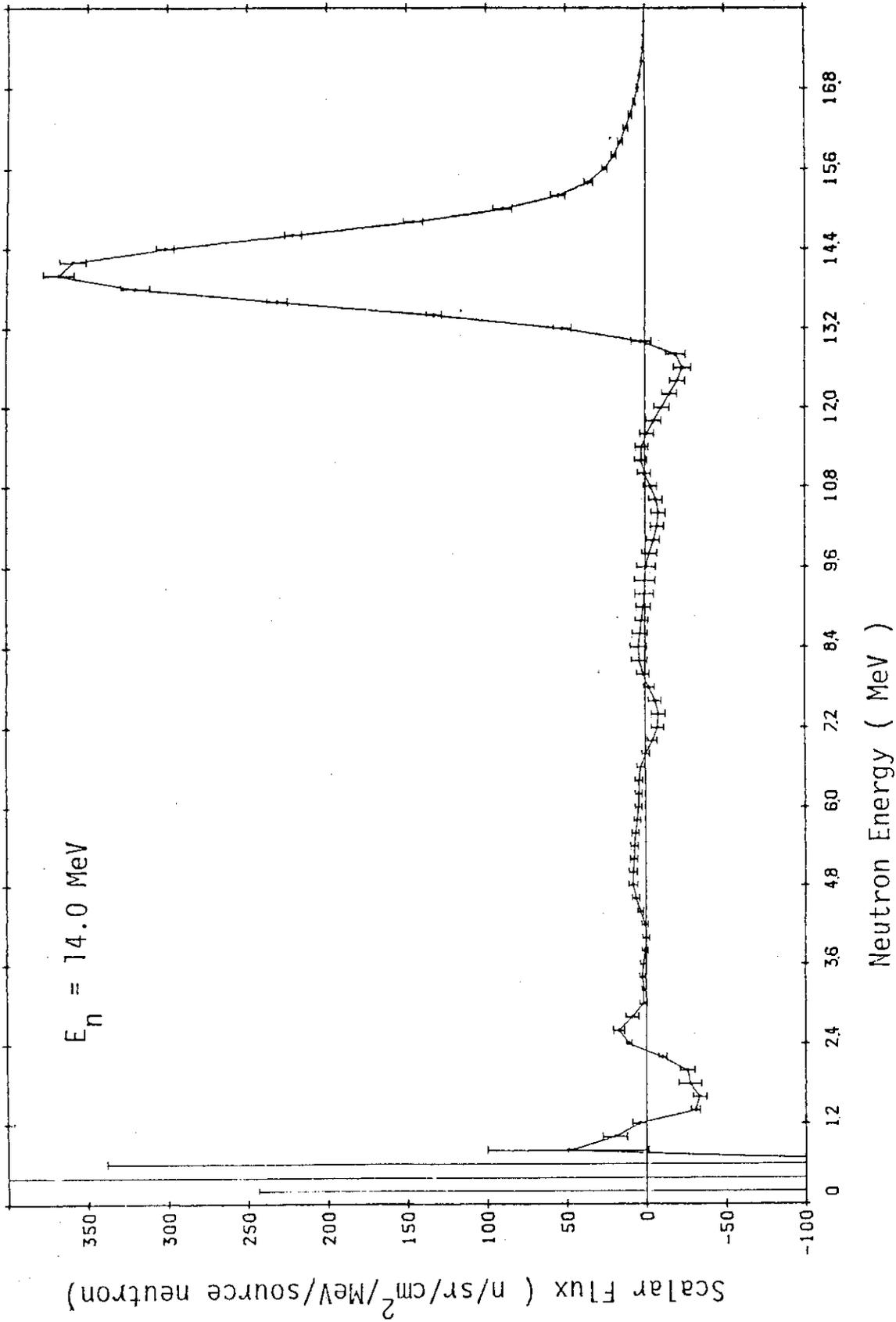


Fig. 3.7 Unfolded spectra for 14 MeV neutrons by using FORIST code

## 4. 核融合炉中性子工学実験への応用

### 4.1 実験方法

実験は酸化リチウムブロックで構成した厚さ 61 cm, 実効半径 31.5 cm の擬似円柱体系を用いて行った。酸化リチウムブロックは酸化リチウムをコールドプレスしたものを厚さ 0.2 mm のステンレス鋼で密封したものである。円柱体系の軸はビームラインの軸上に合せ、ターゲットから円柱表面までの距離が 20 cm になるように設置した。実験に利用したターゲットアセンブリは、25 Ci のトリチウムを吸蔵した水冷型で、このターゲットからの中性子スペクトルと角度分布は池田等<sup>(12, 13)</sup>によって測定されている。また、ターゲットで発生する中性子数はビームラインに取付けたシリコン半導体検出器により、 $d-T$  反応で中性子の随伴粒子として放出される  $\alpha$  粒子を計測することにより決定した。この方法による中性子発生数の評価誤差は約 2% である。<sup>(14, 15)</sup>

酸化リチウム体系内のスペクトルは円柱体系の中心軸に沿って 10 cm 間隔の位置で測定した。Fig. 4.1 に実験の配置を示す。検出器は体系の後方から一辺 21 mm の正方形の穴をあけたブロックに挿入し、前面には順次穴のないブロックを置いて測定した。

高低 2 つのゲインで測定した波高分布は発光量軸のデータに変換した後で、1 つのデータとして結合し、FORIST コードでアンフォールディングしてエネルギースペクトルを得た。FORIST コードでの繰返しは 2 回行った。エネルギースペクトルは中性子発生数で規格化され、最終的に単位中性子当りのスペクトルに変換された。これら一連のデータ処理の手順を Fig. 4.2 に示す。このようにしてアンフォールディングにより約 800 keV 以上のエネルギー範囲で、有意な収束スペクトルが得られた。

### 4.2 結果の検討

実験で得られたエネルギースペクトルの妥当性を調べるため、2次元輸送計算コード DOT 3.5 により円柱モデルで体系内のスペクトルを計算し、比較検討した。輸送計算における線源スペクトルは関等<sup>(13)</sup>の計算結果を利用した。また、Ray-effect を避けるため 1 回散乱線源 (First collision source) 法を用いた。中性子の群定数は中性子 135 群の GICXFNS<sup>(16)</sup> を使い、 $P_5-S_{16}$  の角度近似で計算した。DOT 3.5 コードで得られたエネルギースペクトルの計算値は、測定値との比較のため測定値と同じ "Window function" を用いて Smearing した。酸化リチウム体系内のエネルギースペクトルの比較結果は Fig. 4.3 の通りである。計算値と実験値は全体として良く一致しているが、詳細に検討すると 10 cm の位置では 13 MeV 付近のピークの裾野の形に差異が見られる。また、全ての測定結果は 7~10 MeV 付近に計算値には見られないスペクトル構造が見られる。前者の差異は 15 MeV に大きなスペクトルの極大値があるため、そこでの僅かの差を補償するため 13~14 MeV で必要以上に小さい中性子束が生じたものと考えられる。しかし、後者についてはピークの大きさにかかわらず全ての測定スペクトルに共通であること、計算に用

いた断面積が非弾性散乱の全てのレベルを考慮していないなどの問題があり、その原因は明白でない。

次に、同じ体系内での他の検出器による反応率の測定値<sup>(17)</sup>との比較をDOT 3.5による計算結果を仲介として行った。すなわち、各反応のしきい値に相当するエネルギー以上の中性子スペクトルを積分し、その計算値と実験値との比(C/E)を各反応率に対応するC/E値と比較した。この比較法では計算値に含まれる不確かさがほぼ打消され、実験値同志の系統的な比較が可能となる。比較に用いた反応率は、放射化箔により測定された $^{58}\text{Ni}(n, 2n)$ 、 $^{57}\text{Ni}$ 、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ 、 $^{24}\text{Na}$ 、および核分裂計数管により測定された $^{238}\text{U}(n, f)$ 、 $^{232}\text{Th}(n, f)$ 反応の4種類である。Fig. 4.4は測定値と計算値の積分中性子束の比較結果で、12 MeV以上の積分値はよく一致しているが、6 MeV以上では計算値が過大評価、1 MeV以上ではそれが逆転することを示している。Fig. 4.4のC/Eを、各反応率のC/Eの結果と比較したのがFig. 4.5である。この図で、 $^{58}\text{Ni}(n, 2n)$ 反応は12 MeV以上の積分値のC/E、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ 反応は6 MeV以上、そして $^{238}\text{U}(n, f)$ 、 $^{232}\text{Th}(n, f)$ 反応は1 MeV以上のそれと比較してある。各反応率に対応する比の差はほとんど±5%以内であり、特に計算値が過大であった6 MeV以上の積分値は信頼性の高い $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ 反応との一致が非常によく、小型NE 213検出器によるアンフォールディングスペクトル測定結果を支持している。

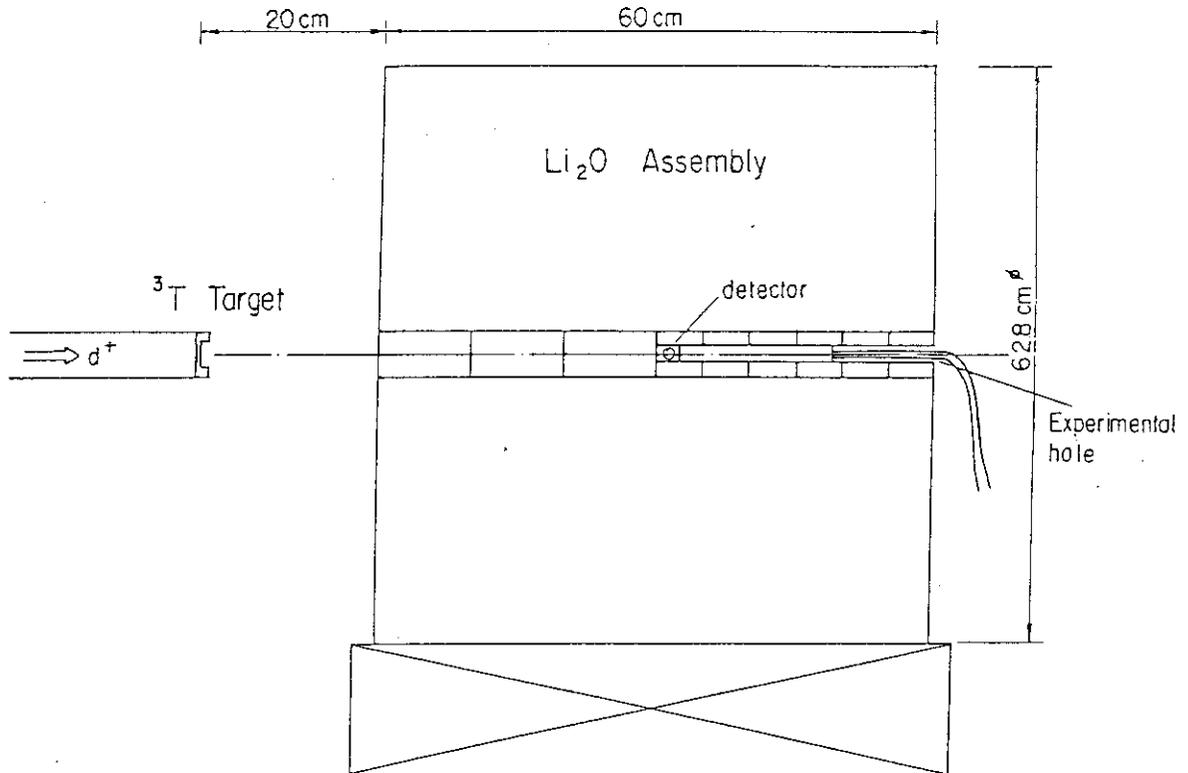


Fig. 4.1 Experimental assembly and setup of detector

DATA PROCESSING SYSTEM FOR NE213 LIQUID SCINTILLATOR

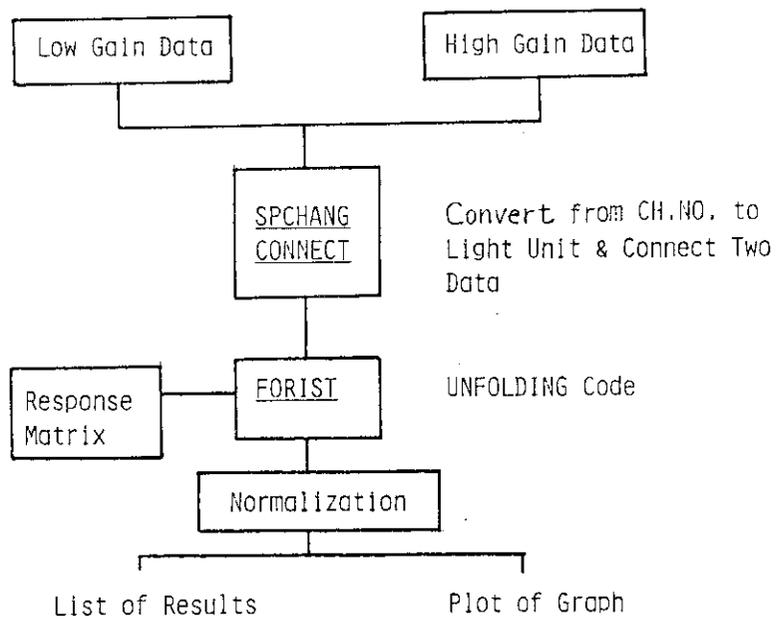


Fig. 4.2 Flow chart of data processing

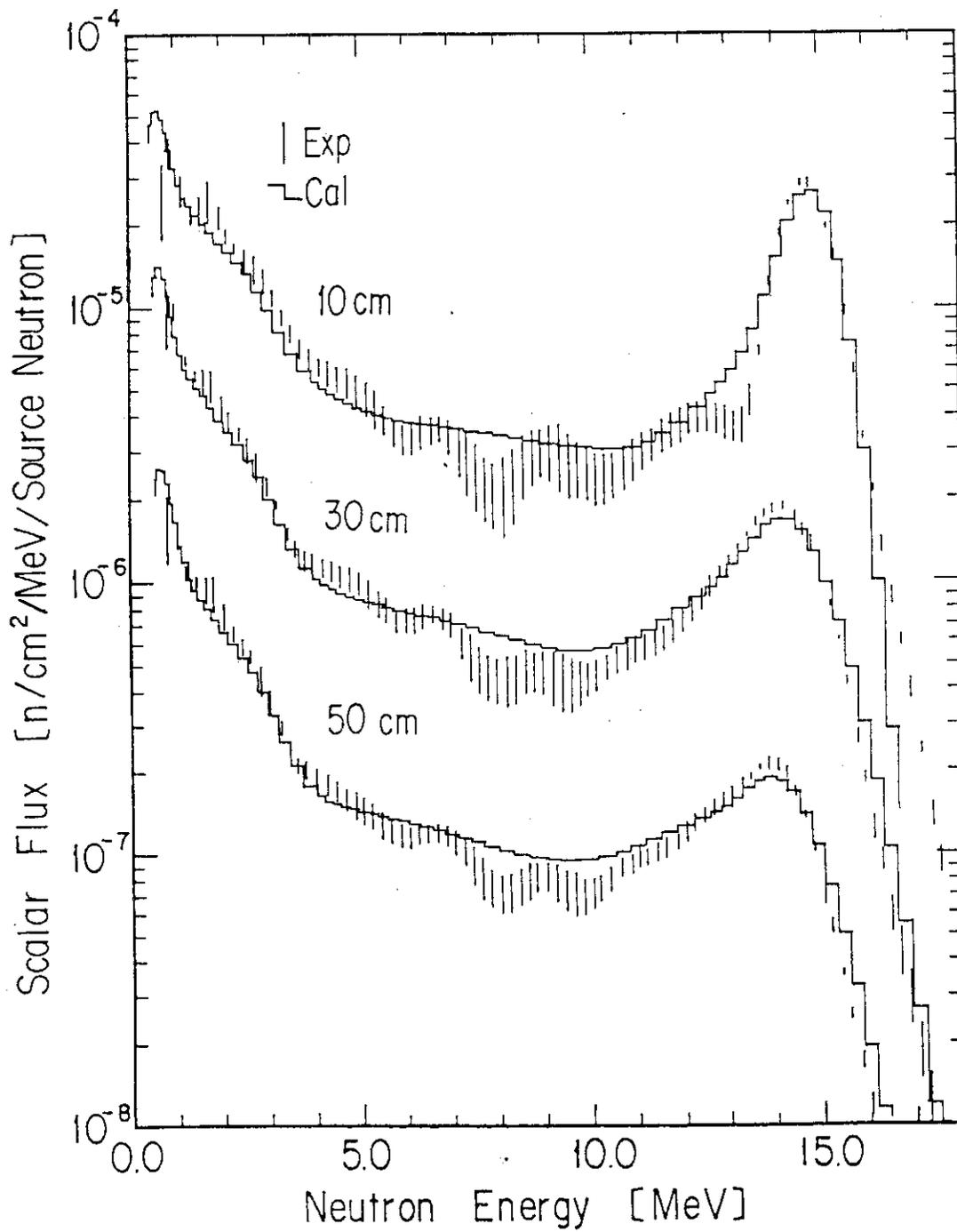


Fig. 4.3 Comparison between the calculated and measured spectra , where the calculation was carried out by DOT3.5 code and smeared with a window function

Comparison with DOT3.5 calculation

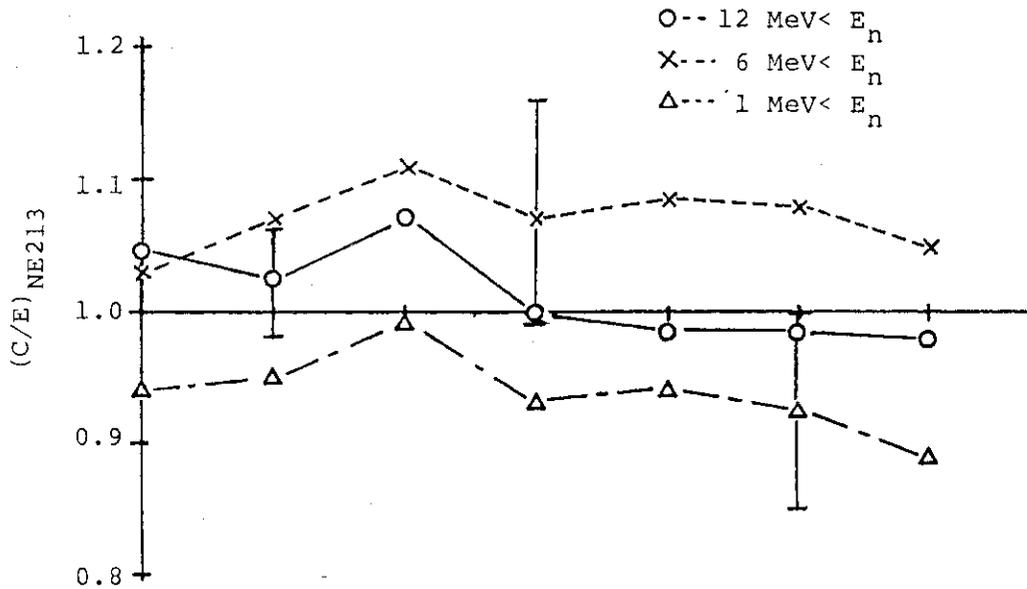


Fig. 4.4 C/E comparison of energy-regionwise integrated spectra

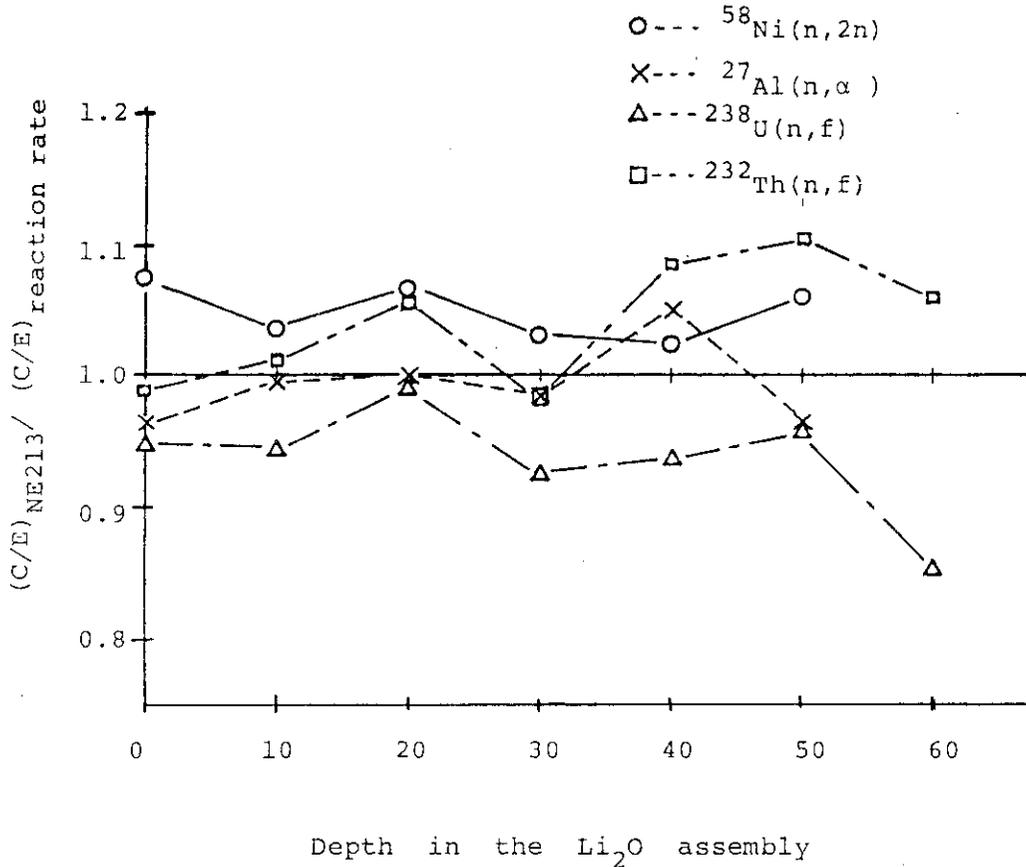


Fig. 4.5 Comparison between the reaction rates calculated from the spectra by NE213 spectrometer and those by fission and activation detectors

## 5. ま と め

核融合炉中性子工学実験への適用を目的として 14 mm 径の小型球型 NE 213 スペクトロメータを製作し、その特性および性能を調べた。アンフォールディングコード FORIST を使用して得たエネルギースペクトルは従来の大きな NE 213 シンチレータによる結果と比べ遜色のないものであった。本研究で得られたこの検出器の特性および性能は次のように要約できる。

- (1) 検出器の中性子に対する効率の等方性は後方  $150^{\circ} \sim 180^{\circ}$  の範囲を除き 2 % 以内で一定であった。これは、球形検出器としての所期の性能を十分満足するものと考えられる。
- (2) 中性子・ガンマ線の弁別特性に反跳陽子のエネルギーの一部が検出器外で失われるいわゆる“Wall effect”が特徴的にあらわれた。この点を除けばシステムの波形弁別性能は大型のものと変わらず満足すべきものであった。しかも小型化はガンマ線の検出効率を小さくすることにつながり、測定回路のピルアップ等からくる実質的な計数率の制限を有利なものとし、効率の減少を補った。
- (3) エネルギースペクトルを得るために必要となる応答関数をモンテカルロ計算によって作成した。作成した応答関数と 14 MeV 中性子に対する測定値との比較では、反跳陽子に対応する部分で約 5 % 以内の一致をしたが、 $\alpha$  粒子に対応する部分では発光量で 10 % 以上の過少評価があるものと考えられる。
- (4) アンフォールディングコード FORIST を用いて得た実体系内でのエネルギースペクトルは 2 ゲインの採用で 800 keV までの範囲で妥当な結果を示した。全体的なスペクトルの形は輸送計算で得た中性子スペクトルと良く一致しており、スペクトルの積分値についての他の独立な検出器（反応率測定）との比較で絶対的にも信頼できるものであることを示した。
- (5) 体系内に検出器を持ち込む場合には、検出器による中性子場の摂動に注意を払う必要がある。摂動の程度は検出器の大きさを実験体系の物質に依存する。Li F 体系で NE 213 シンチレータを用いた時の摂動効果が計算されており、<sup>(18)(19)</sup> その結果から、本小型 NE 213 スペクトロメータの摂動効果は 2 ~ 3 % 以下であると推定される。

以上の結果から、この 14 mm 径小型 NE 213 スペクトロメータは、取り扱いも簡単で、信頼性も高く、その軽量小型の特性によって体系内スペクトル測定をはじめ、ストリーミング、遮蔽実験等、複雑な形状、および実験配置にも十分対応できるため、その応用範囲はますます広がるものと確信する。

### 謝 辞

この研究をおこなうにあたり、適切な助言と援助を頂いた核融合炉物理研究室長中村知夫氏に感謝いたします。実験に際し、FNS 加速器を運転して頂いた炉物理施設管理室の草野譲一、沓掛忠三、田中滋の各氏に感謝いたします。

## 5. ま と め

核融合炉中性子工学実験への適用を目的として 14 mm 径の小型球型 NE 213 スペクトロメータを製作し、その特性および性能を調べた。アンフォールディングコード FORIST を使用して得たエネルギースペクトルは従来の大きな NE 213 シンチレータによる結果と比べ遜色のないものであった。本研究で得られたこの検出器の特性および性能は次のように要約できる。

- (1) 検出器の中性子に対する効率の等方性は後方  $150^{\circ} \sim 180^{\circ}$  の範囲を除き 2 % 以内で一定であった。これは、球形検出器としての所期の性能を十分満足するものと考えられる。
- (2) 中性子・ガンマ線の弁別特性に反跳陽子のエネルギーの一部が検出器外で失われるいわゆる“Wall effect”が特徴的にあらわれた。この点を除けばシステムの波形弁別性能は大型のものと変わらず満足すべきものであった。しかも小型化はガンマ線の検出効率を小さくすることにつながり、測定回路のピルアップ等からくる実質的な計数率の制限を有利なものとし、効率の減少を補った。
- (3) エネルギースペクトルを得るために必要となる応答関数をモンテカルロ計算によって作成した。作成した応答関数と 14 MeV 中性子に対する測定値との比較では、反跳陽子に対応する部分で約 5 % 以内の一致をしたが、 $\alpha$  粒子に対応する部分では発光量で 10 % 以上の過少評価があるものと考えられる。
- (4) アンフォールディングコード FORIST を用いて得た実体系内でのエネルギースペクトルは 2 ゲインの採用で 800 keV までの範囲で妥当な結果を示した。全体的なスペクトルの形は輸送計算で得た中性子スペクトルと良く一致しており、スペクトルの積分値についての他の独立な検出器（反応率測定）との比較で絶対値的にも信頼できるものであることを示した。
- (5) 体系内に検出器を持ち込む場合には、検出器による中性子場の摂動に注意を払う必要がある。摂動の程度は検出器の大きさと実験体系の物質に依存する。Li F 体系で NE 213 シンチレータを用いた時の摂動効果が計算されており、<sup>(18)(19)</sup> その結果から、本小型 NE 213 スペクトロメータの摂動効果は 2 ~ 3 % 以下であると推定される。

以上の結果から、この 14 mm 径小型 NE 213 スペクトロメータは、取り扱いも簡単で、信頼性も高く、その軽量小型の特性によって体系内スペクトル測定をはじめ、ストリーミング、遮蔽実験等、複雑な形状、および実験配置にも十分対応できるため、その応用範囲はますます広がるものと確信する。

## 謝 辞

この研究をおこなうにあたり、適切な助言と援助を頂いた核融合炉物理研究室長中村知夫氏に感謝いたします。実験に際し、FNS 加速器を運転して頂いた炉物理施設管理室の草野譲一、沓掛忠三、田中滋の各氏に感謝いたします。

## References

- 1) Perkins L.J., Evans N., Scott M.C., Underwood B.Y. : Nucl. Sci. Eng., 78, 30 (1981)
- 2) Profio A.E., Shani G., Dissanaikie G.A. : Nucl. Sci. Eng., 78, 178 (1981)
- 3) Sekimoto H., Ohtsuka M., Yamamuro N. : Nucl. Instr. Meth., 189, 469 (1981)
- 4) Perkins L.J., Scott M.C. : Nucl. Instr. Meth., 166, 451 (1979)
- 5) Elson H.R., Stupar T.A., Shapio A., Kereiakes J.G. : Med. Phys., 6, 426 (1979)
- 6) Kinbara S., Kumahara T. : Nucl. Instr. Meth., 70, 173 (1969)
- 7) Verbinski V.V., Burrus W.R., Love T.A., Zobel W., Hill N.W., Textor R. : Nucl. Instr. Meth., 65, 8 (1968)
- 8) Onge R.S., Galonsky A., Jolly R.K., Amos T.M. : Nucl. Instr. Meth., 126, 391 (1975)
- 9) Sasamoto N., Tanaka S. : "An Unfolding Code System for NE213 Liquid Scintillator," JAERI-M 6952 (1977)
- 10) Sasamoto N. : "An Interpolation Method for the Response Function of Radiations Obtained by Proton Recoil Type Scintillator," JAERI-M 6536 (1976)
- 11) FORIST Spectra Unfolding Code, Radiation Shielding Information Center, Oak Ridge National Laboratory, PSR-92 (1975)
- 12) Ikeda Y., Oyama Y., Tanaka S., Maekawa H., Nakamura T. : to be published in JAERI-M report
- 13) Seki Y., Oyama Y., Ikeda Y., Tanaka S., Maekawa H., Nakamura T., Kawasaki H. : J. Nucl. Sci. Technol., 20, 686 (1983)
- 14) Maekawa H., Ikeda Y., Oyama Y., Yamaguchi S., Nakamura T. : "Neutron Yield Monitors for the Fusion Neutronics Source (FNS)," JAERI-M 83-219 (1983)
- 15) Yamaguchi S., Oyama Y., Maekawa H. : JAERI-M 84-109 (1984)
- 16) Seki Y., Kawasaki H., Maekawa H., Oyama Y., Ikeda Y., Nakamura T. : "Calculation of Absolute Fission-Rate Distributions Measured in Graphite-Reflected Lithium Oxide Blanket Assembly," JAERI-M 83-061 (1983)
- 17) Maekawa H. et al. : to be published in JAERI-M report
- 18) Underwood B.Y. : Nucl. Instr. Meth., 164, 27 (1979)
- 19) Sekimoto H., Ohtsuka M., Yamamuro N. : Nucl. Instr. Meth., 80, 407 (1982)

## 付 録： 14 mm径球形NE 213 スペクトロメータの中性子に対する応答関数行列

14 mm直径の球形NE 213 スペクトロメータの応答関数は、エネルギー49群、発光量103群から成る。Table A. 1は発光量軸の境界の値で、Na light unitで表示したものである。Table A. 2は49群の単色エネルギーに対する本スペクトロメータの応答関数で、単位入射中性子当りの単位light unit当りの値を示したものである。なお、表中のエネルギーは各エネルギー群の中心値である。

Table A.1 The boundaries of light unit axis for response matrix

|             |             |             |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0.74680E-02 | 0.16278E-01 | 0.19070E-01 | 0.21760E-01 | 0.24264E-01 | 0.27575E-01 |
| 0.31879E-01 | 0.35922E-01 | 0.39619E-01 | 0.45624E-01 | 0.53987E-01 | 0.61805E-01 |
| 0.69120E-01 | 0.79329E-01 | 0.92770E-01 | 0.10642E+00 | 0.12001E+00 | 0.13716E+00 |
| 0.15803E+00 | 0.17916E+00 | 0.20058E+00 | 0.22541E+00 | 0.25387E+00 | 0.28309E+00 |
| 0.31287E+00 | 0.34620E+00 | 0.38304E+00 | 0.42044E+00 | 0.45869E+00 | 0.50093E+00 |
| 0.54680E+00 | 0.59314E+00 | 0.63980E+00 | 0.68960E+00 | 0.74268E+00 | 0.79638E+00 |
| 0.85085E+00 | 0.90946E+00 | 0.97311E+00 | 0.10394E+01 | 0.11073E+01 | 0.11791E+01 |
| 0.12546E+01 | 0.13313E+01 | 0.14087E+01 | 0.14892E+01 | 0.15727E+01 | 0.16566E+01 |
| 0.17408E+01 | 0.18279E+01 | 0.19180E+01 | 0.20085E+01 | 0.20997E+01 | 0.21941E+01 |
| 0.22917E+01 | 0.23914E+01 | 0.24941E+01 | 0.26020E+01 | 0.27147E+01 | 0.28291E+01 |
| 0.29448E+01 | 0.30638E+01 | 0.31862E+01 | 0.33101E+01 | 0.34355E+01 | 0.35650E+01 |
| 0.36985E+01 | 0.38333E+01 | 0.39697E+01 | 0.41828E+01 | 0.44745E+01 | 0.46989E+01 |
| 0.48540E+01 | 0.50104E+01 | 0.51682E+01 | 0.53293E+01 | 0.54935E+01 | 0.56591E+01 |
| 0.58260E+01 | 0.59960E+01 | 0.61689E+01 | 0.63429E+01 | 0.65179E+01 | 0.66967E+01 |
| 0.68791E+01 | 0.70624E+01 | 0.72466E+01 | 0.74348E+01 | 0.76269E+01 | 0.78199E+01 |
| 0.80139E+01 | 0.82119E+01 | 0.84138E+01 | 0.86170E+01 | 0.88214E+01 | 0.90308E+01 |
| 0.92459E+01 | 0.94643E+01 | 0.96856E+01 | 0.99625E+01 | 0.10296E+02 | 0.10632E+02 |
| 0.10970E+02 | 0.11139E+02 |             |             |             |             |

















Table A.2 (cont.)

MID-ENERGY : 4.93240 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 5.1060E+00 | 1.7705E+00 | 3.5269E-01 | 9.6667E-02 | 8.4683E-02 | 1.0340E-01 |
| 1.0257E-01 | 9.9745E-02 | 9.5951E-02 | 8.8195E-02 | 8.1575E-02 | 7.6959E-02 |
| 7.2809E-02 | 6.7383E-02 | 6.3472E-02 | 6.0852E-02 | 5.8530E-02 | 5.5319E-02 |
| 5.2323E-02 | 5.0034E-02 | 4.8202E-02 | 4.6225E-02 | 4.4385E-02 | 4.3125E-02 |
| 4.2381E-02 | 4.1691E-02 | 4.0798E-02 | 3.9752E-02 | 3.8636E-02 | 3.7498E-02 |
| 3.6712E-02 | 3.6187E-02 | 3.5860E-02 | 3.5680E-02 | 3.5458E-02 | 3.4986E-02 |
| 3.4297E-02 | 3.3468E-02 | 3.2683E-02 | 3.2074E-02 | 3.1778E-02 | 3.1616E-02 |
| 3.1334E-02 | 3.0895E-02 | 3.0326E-02 | 2.8999E-02 | 2.5750E-02 | 1.9811E-02 |
| 1.2323E-02 | 5.6099E-03 | 1.8308E-03 | 4.1642E-04 | 6.5533E-05 | 5.3973E-06 |
| 3.4761E-07 | 5.1549E-09 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 5.29930 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4.9665E+00 | 1.5627E+00 | 2.4633E-01 | 6.7938E-02 | 9.3790E-02 | 9.8042E-02 |
| 9.6021E-02 | 9.2368E-02 | 8.7963E-02 | 7.9754E-02 | 7.3205E-02 | 6.8691E-02 |
| 6.4640E-02 | 5.9453E-02 | 5.5877E-02 | 5.3608E-02 | 5.1725E-02 | 4.9245E-02 |
| 4.6831E-02 | 4.4714E-02 | 4.2858E-02 | 4.0918E-02 | 3.9235E-02 | 3.7875E-02 |
| 3.6860E-02 | 3.6034E-02 | 3.5350E-02 | 3.4633E-02 | 3.3876E-02 | 3.3077E-02 |
| 3.2417E-02 | 3.1896E-02 | 3.1515E-02 | 3.1248E-02 | 3.1032E-02 | 3.0714E-02 |
| 3.0142E-02 | 2.9351E-02 | 2.8606E-02 | 2.8048E-02 | 2.7699E-02 | 2.7530E-02 |
| 2.7490E-02 | 2.7472E-02 | 2.7394E-02 | 2.7219E-02 | 2.6784E-02 | 2.5525E-02 |
| 2.2535E-02 | 1.6739E-02 | 9.5800E-03 | 3.9859E-03 | 1.1809E-03 | 2.2118E-04 |
| 2.6162E-05 | 1.6540E-06 | 7.1781E-08 | 4.8939E-11 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 5.66900 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4.3228E+00 | 1.4535E+00 | 2.6011E-01 | 6.8902E-02 | 8.5676E-02 | 8.9927E-02 |
| 8.8564E-02 | 8.5476E-02 | 8.1631E-02 | 7.4164E-02 | 6.7994E-02 | 6.3754E-02 |
| 5.9982E-02 | 5.5142E-02 | 5.1766E-02 | 4.9560E-02 | 4.7626E-02 | 4.5028E-02 |
| 4.2631E-02 | 4.0612E-02 | 3.8818E-02 | 3.6892E-02 | 3.5321E-02 | 3.4127E-02 |
| 3.3011E-02 | 3.1796E-02 | 3.0939E-02 | 3.0387E-02 | 2.9866E-02 | 2.9284E-02 |
| 2.8792E-02 | 2.8360E-02 | 2.7981E-02 | 2.7640E-02 | 2.7275E-02 | 2.6870E-02 |
| 2.6489E-02 | 2.6052E-02 | 2.5476E-02 | 2.4896E-02 | 2.4499E-02 | 2.4290E-02 |
| 2.4181E-02 | 2.4166E-02 | 2.4208E-02 | 2.4194E-02 | 2.4125E-02 | 2.4011E-02 |
| 2.3728E-02 | 2.2813E-02 | 2.0404E-02 | 1.5597E-02 | 9.4361E-03 | 3.9427E-03 |
| 1.0589E-03 | 1.6329E-04 | 1.4101E-05 | 4.8982E-07 | 6.5412E-09 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |



Table A.2 (cont.)

MID-ENERGY : 7.29580 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 8.5757E+00 | 1.9867E+00 | 1.5131E-01 | 3.3426E-02 | 6.0094E-02 | 6.2906E-02 |
| 6.1575E-02 | 5.8866E-02 | 5.5547E-02 | 4.9076E-02 | 4.4208E-02 | 4.1370E-02 |
| 3.9102E-02 | 3.6246E-02 | 3.4001E-02 | 3.2406E-02 | 3.1120E-02 | 2.9669E-02 |
| 2.8471E-02 | 2.7450E-02 | 2.6468E-02 | 2.5263E-02 | 2.4124E-02 | 2.3225E-02 |
| 2.2465E-02 | 2.1655E-02 | 2.0881E-02 | 2.0099E-02 | 1.9357E-02 | 1.8763E-02 |
| 1.8463E-02 | 1.8272E-02 | 1.8082E-02 | 1.7899E-02 | 1.7739E-02 | 1.7444E-02 |
| 1.6968E-02 | 1.6361E-02 | 1.5859E-02 | 1.5489E-02 | 1.5228E-02 | 1.5084E-02 |
| 1.5124E-02 | 1.5194E-02 | 1.5133E-02 | 1.4999E-02 | 1.4914E-02 | 1.4866E-02 |
| 1.4835E-02 | 1.4832E-02 | 1.4901E-02 | 1.4987E-02 | 1.5001E-02 | 1.4879E-02 |
| 1.4701E-02 | 1.4508E-02 | 1.4224E-02 | 1.3596E-02 | 1.1956E-02 | 8.8972E-03 |
| 5.2641E-03 | 2.1480E-03 | 5.6533E-04 | 8.7847E-05 | 7.9765E-06 | 3.4853E-07 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 7.73860 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 8.2110E+00 | 2.4418E+00 | 3.2553E-01 | 8.1800E-02 | 1.2474E-01 | 1.2746E-01 |
| 1.2102E-01 | 1.1265E-01 | 1.0292E-01 | 8.3060E-02 | 6.5602E-02 | 5.4006E-02 |
| 4.4767E-02 | 3.5475E-02 | 3.1422E-02 | 2.9857E-02 | 2.8847E-02 | 2.7670E-02 |
| 2.6552E-02 | 2.5520E-02 | 2.4564E-02 | 2.3450E-02 | 2.2364E-02 | 2.1486E-02 |
| 2.0763E-02 | 1.9965E-02 | 1.9253E-02 | 1.8677E-02 | 1.8092E-02 | 1.7379E-02 |
| 1.6827E-02 | 1.6524E-02 | 1.6355E-02 | 1.6198E-02 | 1.6004E-02 | 1.5675E-02 |
| 1.5190E-02 | 1.4533E-02 | 1.3880E-02 | 1.3448E-02 | 1.3369E-02 | 1.3508E-02 |
| 1.3530E-02 | 1.3475E-02 | 1.3396E-02 | 1.3277E-02 | 1.3131E-02 | 1.3062E-02 |
| 1.3091E-02 | 1.3201E-02 | 1.3262E-02 | 1.3256E-02 | 1.3188E-02 | 1.3090E-02 |
| 1.2998E-02 | 1.2921E-02 | 1.2825E-02 | 1.2645E-02 | 1.2327E-02 | 1.1529E-02 |
| 9.9773E-03 | 7.1632E-03 | 3.8798E-03 | 1.4809E-03 | 3.5325E-04 | 4.5490E-05 |
| 3.1521E-06 | 5.0894E-07 | 5.7942E-08 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 8.18600 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4.8521E+00 | 1.8596E+00 | 4.2453E-01 | 1.1927E-01 | 1.2859E-01 | 1.3475E-01 |
| 1.3164E-01 | 1.2526E-01 | 1.1718E-01 | 1.0023E-01 | 8.4986E-02 | 7.3938E-02 |
| 6.3483E-02 | 4.8536E-02 | 3.7028E-02 | 3.0491E-02 | 2.6939E-02 | 2.4742E-02 |
| 2.3727E-02 | 2.2978E-02 | 2.2191E-02 | 2.1080E-02 | 1.9871E-02 | 1.8919E-02 |
| 1.8371E-02 | 1.7929E-02 | 1.7374E-02 | 1.6792E-02 | 1.6274E-02 | 1.5727E-02 |
| 1.5198E-02 | 1.4750E-02 | 1.4491E-02 | 1.4464E-02 | 1.4483E-02 | 1.4341E-02 |
| 1.4014E-02 | 1.3590E-02 | 1.3139E-02 | 1.2659E-02 | 1.2244E-02 | 1.1984E-02 |
| 1.1948E-02 | 1.1972E-02 | 1.1931E-02 | 1.1861E-02 | 1.1864E-02 | 1.1883E-02 |
| 1.1855E-02 | 1.1750E-02 | 1.1652E-02 | 1.1654E-02 | 1.1721E-02 | 1.1732E-02 |
| 1.1687E-02 | 1.1616E-02 | 1.1633E-02 | 1.1667E-02 | 1.1697E-02 | 1.1573E-02 |
| 1.1333E-02 | 1.0874E-02 | 9.7816E-03 | 7.8089E-03 | 5.2562E-03 | 2.4385E-03 |
| 7.8837E-04 | 1.4746E-04 | 1.5543E-05 | 2.8580E-08 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

Table A.2 (cont.)

| MID-ENERGY : 8.65420 (MEV) |            |            |            |            |            |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 4.8490E+00                 | 1.6282E+00 | 2.8838E-01 | 6.3710E-02 | 7.0280E-02 | 7.6795E-02 |
| 7.8675E-02                 | 7.7486E-02 | 7.4802E-02 | 6.7441E-02 | 6.0033E-02 | 5.4680E-02 |
| 4.9747E-02                 | 4.2652E-02 | 3.6292E-02 | 3.1299E-02 | 2.7229E-02 | 2.3400E-02 |
| 2.1510E-02                 | 2.0639E-02 | 1.9997E-02 | 1.9255E-02 | 1.8606E-02 | 1.8051E-02 |
| 1.7456E-02                 | 1.6662E-02 | 1.5839E-02 | 1.5127E-02 | 1.4625E-02 | 1.4350E-02 |
| 1.4176E-02                 | 1.3904E-02 | 1.3602E-02 | 1.3411E-02 | 1.3316E-02 | 1.3156E-02 |
| 1.2879E-02                 | 1.2563E-02 | 1.2292E-02 | 1.2027E-02 | 1.1788E-02 | 1.1547E-02 |
| 1.1321E-02                 | 1.1185E-02 | 1.1097E-02 | 1.0949E-02 | 1.0822E-02 | 1.0844E-02 |
| 1.0948E-02                 | 1.1021E-02 | 1.0943E-02 | 1.0808E-02 | 1.0728E-02 | 1.0676E-02 |
| 1.0625E-02                 | 1.0555E-02 | 1.0525E-02 | 1.0520E-02 | 1.0519E-02 | 1.0475E-02 |
| 1.0373E-02                 | 1.0192E-02 | 9.8606E-03 | 9.2503E-03 | 8.3224E-03 | 6.5608E-03 |
| 4.3096E-03                 | 2.1256E-03 | 7.3530E-04 | 2.9642E-05 | 1.9253E-07 | 6.7749E-09 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

| MID-ENERGY : 9.12740 (MEV) |            |            |            |            |            |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2.7581E+00                 | 1.0347E+00 | 2.3198E-01 | 8.1442E-02 | 1.0995E-01 | 1.2651E-01 |
| 1.3841E-01                 | 1.4347E-01 | 1.4523E-01 | 1.3965E-01 | 1.2728E-01 | 1.1663E-01 |
| 1.0657E-01                 | 9.2533E-02 | 7.9919E-02 | 6.8172E-02 | 5.5530E-02 | 3.8292E-02 |
| 2.5913E-02                 | 1.9931E-02 | 1.7646E-02 | 1.6711E-02 | 1.6240E-02 | 1.5886E-02 |
| 1.5480E-02                 | 1.4923E-02 | 1.4423E-02 | 1.3985E-02 | 1.3562E-02 | 1.3176E-02 |
| 1.2912E-02                 | 1.2659E-02 | 1.2409E-02 | 1.2239E-02 | 1.2135E-02 | 1.1945E-02 |
| 1.1617E-02                 | 1.1176E-02 | 1.0809E-02 | 1.0636E-02 | 1.0566E-02 | 1.0434E-02 |
| 1.0255E-02                 | 1.0109E-02 | 1.0045E-02 | 1.0012E-02 | 9.9722E-03 | 9.9389E-03 |
| 9.9609E-03                 | 1.0047E-02 | 1.0080E-02 | 9.9303E-03 | 9.6952E-03 | 9.4821E-03 |
| 9.3903E-03                 | 9.4001E-03 | 9.3967E-03 | 9.3880E-03 | 9.3424E-03 | 9.3201E-03 |
| 9.2834E-03                 | 9.1674E-03 | 8.9175E-03 | 8.5391E-03 | 8.0530E-03 | 7.3367E-03 |
| 6.2888E-03                 | 4.5820E-03 | 2.6634E-03 | 3.2262E-04 | 3.3886E-06 | 1.1929E-07 |
| 9.8888E-10                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

| MID-ENERGY : 10.12000 (MEV) |            |            |            |            |            |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 3.6328E+00                  | 1.2001E+00 | 2.0411E-01 | 5.4139E-02 | 7.2467E-02 | 7.6277E-02 |
| 7.5869E-02                  | 7.4294E-02 | 7.2833E-02 | 7.1720E-02 | 7.1371E-02 | 6.9304E-02 |
| 6.6882E-02                  | 6.1123E-02 | 5.6151E-02 | 5.2736E-02 | 4.9661E-02 | 4.4795E-02 |
| 3.8725E-02                  | 3.2081E-02 | 2.5374E-02 | 1.8842E-02 | 1.5110E-02 | 1.3692E-02 |
| 1.3178E-02                  | 1.2760E-02 | 1.2320E-02 | 1.1916E-02 | 1.1516E-02 | 1.1058E-02 |
| 1.0705E-02                  | 1.0523E-02 | 1.0445E-02 | 1.0381E-02 | 1.0267E-02 | 1.0088E-02 |
| 9.8478E-03                  | 9.5333E-03 | 9.2354E-03 | 9.0086E-03 | 8.8975E-03 | 8.8732E-03 |
| 8.8356E-03                  | 8.7846E-03 | 8.7504E-03 | 8.7069E-03 | 8.6461E-03 | 8.5623E-03 |
| 8.4577E-03                  | 8.3576E-03 | 8.3105E-03 | 8.3151E-03 | 8.3096E-03 | 8.2185E-03 |
| 8.0217E-03                  | 7.8019E-03 | 7.6845E-03 | 7.6684E-03 | 7.7051E-03 | 7.7056E-03 |
| 7.6402E-03                  | 7.5160E-03 | 7.3043E-03 | 7.0745E-03 | 6.8695E-03 | 6.7347E-03 |
| 6.6708E-03                  | 6.5781E-03 | 6.3541E-03 | 5.0811E-03 | 2.1312E-03 | 8.6808E-04 |
| 2.3588E-04                  | 3.9924E-05 | 4.3517E-06 | 2.4053E-07 | 8.4960E-09 | 1.9606E-10 |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

Table A.2 (cont.)

MID-ENERGY : 10.63900 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.1071E+01 | 2.6403E+00 | 2.2912E-01 | 2.9642E-02 | 3.8797E-02 | 4.3260E-02 |
| 4.6856E-02 | 4.9582E-02 | 5.2868E-02 | 6.1236E-02 | 6.9812E-02 | 7.4766E-02 |
| 7.6712E-02 | 7.2462E-02 | 6.1896E-02 | 5.1731E-02 | 4.3621E-02 | 3.6112E-02 |
| 3.1696E-02 | 2.8670E-02 | 2.5683E-02 | 2.1520E-02 | 1.7242E-02 | 1.4126E-02 |
| 1.2490E-02 | 1.1696E-02 | 1.1193E-02 | 1.0805E-02 | 1.0585E-02 | 1.0373E-02 |
| 1.0058E-02 | 9.7426E-03 | 9.5451E-03 | 9.4487E-03 | 9.3534E-03 | 9.1560E-03 |
| 8.8843E-03 | 8.6036E-03 | 8.4103E-03 | 8.3127E-03 | 8.2786E-03 | 8.2433E-03 |
| 8.2011E-03 | 8.1670E-03 | 8.1650E-03 | 8.2290E-03 | 8.2631E-03 | 8.1205E-03 |
| 7.9241E-03 | 7.7649E-03 | 7.6970E-03 | 7.6500E-03 | 7.5829E-03 | 7.5009E-03 |
| 7.3937E-03 | 7.2492E-03 | 7.1036E-03 | 6.9863E-03 | 6.9162E-03 | 6.8879E-03 |
| 6.8824E-03 | 6.8524E-03 | 6.7135E-03 | 6.5138E-03 | 6.3332E-03 | 6.1780E-03 |
| 6.0462E-03 | 5.9397E-03 | 5.9040E-03 | 5.6431E-03 | 4.6631E-03 | 3.6294E-03 |
| 2.3967E-03 | 1.1376E-03 | 3.8038E-04 | 7.2142E-05 | 9.3049E-06 | 8.0864E-07 |
| 1.3931E-09 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 11.16400 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.5988E+01 | 3.7065E+00 | 3.1007E-01 | 3.2585E-02 | 3.5761E-02 | 3.9275E-02 |
| 4.1771E-02 | 4.3667E-02 | 4.6197E-02 | 5.3702E-02 | 6.2589E-02 | 6.8635E-02 |
| 7.2190E-02 | 7.0455E-02 | 6.0954E-02 | 5.0322E-02 | 4.1131E-02 | 3.2203E-02 |
| 2.7043E-02 | 2.4119E-02 | 2.2061E-02 | 1.9926E-02 | 1.7713E-02 | 1.5410E-02 |
| 1.3289E-02 | 1.1525E-02 | 1.0539E-02 | 9.9976E-03 | 9.6644E-03 | 9.4547E-03 |
| 9.3001E-03 | 9.0983E-03 | 8.8528E-03 | 8.6113E-03 | 8.4612E-03 | 8.3687E-03 |
| 8.2453E-03 | 8.0319E-03 | 7.7879E-03 | 7.5904E-03 | 7.5281E-03 | 7.5609E-03 |
| 7.5684E-03 | 7.5283E-03 | 7.5086E-03 | 7.5592E-03 | 7.6180E-03 | 7.6178E-03 |
| 7.4441E-03 | 7.2170E-03 | 7.0212E-03 | 6.9364E-03 | 6.8803E-03 | 6.7764E-03 |
| 6.6505E-03 | 6.5272E-03 | 6.4796E-03 | 6.4666E-03 | 6.4315E-03 | 6.3302E-03 |
| 6.2265E-03 | 6.1353E-03 | 6.1015E-03 | 5.9392E-03 | 5.7417E-03 | 5.5319E-03 |
| 5.4867E-03 | 5.4816E-03 | 5.4439E-03 | 5.1542E-03 | 4.9384E-03 | 4.6891E-03 |
| 4.3233E-03 | 3.4524E-03 | 2.4551E-03 | 1.1729E-03 | 3.8533E-04 | 7.1017E-05 |
| 8.9266E-06 | 7.1355E-07 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 11.70800 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.5189E+01 | 3.5148E+00 | 2.9306E-01 | 3.0722E-02 | 3.3863E-02 | 3.7519E-02 |
| 4.0365E-02 | 4.2589E-02 | 4.5483E-02 | 5.3759E-02 | 6.3441E-02 | 7.0164E-02 |
| 7.4459E-02 | 7.3845E-02 | 6.4764E-02 | 5.3466E-02 | 4.2934E-02 | 3.2267E-02 |
| 2.6087E-02 | 2.2732E-02 | 2.0595E-02 | 1.8676E-02 | 1.7106E-02 | 1.5808E-02 |
| 1.4519E-02 | 1.2833E-02 | 1.1146E-02 | 9.8328E-03 | 9.0230E-03 | 8.6421E-03 |
| 8.5450E-03 | 8.4648E-03 | 8.3085E-03 | 8.1124E-03 | 7.9638E-03 | 7.8757E-03 |
| 7.7883E-03 | 7.6163E-03 | 7.3993E-03 | 7.2029E-03 | 7.0194E-03 | 6.8314E-03 |
| 6.7074E-03 | 6.6699E-03 | 6.7041E-03 | 6.8009E-03 | 6.9015E-03 | 6.9924E-03 |
| 7.0462E-03 | 6.9729E-03 | 6.7747E-03 | 6.5387E-03 | 6.3521E-03 | 6.1823E-03 |
| 6.0513E-03 | 5.9558E-03 | 5.9289E-03 | 5.9311E-03 | 5.9181E-03 | 5.8683E-03 |
| 5.7964E-03 | 5.7206E-03 | 5.6322E-03 | 5.4934E-03 | 5.3279E-03 | 5.1446E-03 |
| 5.0309E-03 | 4.9744E-03 | 4.9710E-03 | 4.8482E-03 | 4.5293E-03 | 4.4606E-03 |
| 4.3884E-03 | 4.1975E-03 | 3.8877E-03 | 3.1161E-03 | 2.1913E-03 | 1.0306E-03 |
| 3.3457E-04 | 5.8907E-05 | 7.0330E-06 | 5.6174E-07 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

Table A.2 (cont.)

| MID-ENERGY : 12.25900 (MEV) |            |            |            |            |            |  |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| 5.7921E-02                  | 2.6548E-02 | 2.3177E-02 | 2.7719E-02 | 3.0327E-02 | 3.1086E-02 |  |
| 3.0925E-02                  | 3.2134E-02 | 3.5358E-02 | 4.8378E-02 | 6.6621E-02 | 8.0041E-02 |  |
| 8.8618E-02                  | 8.9380E-02 | 7.8726E-02 | 6.5593E-02 | 5.3764E-02 | 4.1184E-02 |  |
| 3.2522E-02                  | 2.7887E-02 | 2.5346E-02 | 2.2717E-02 | 2.0004E-02 | 1.8278E-02 |  |
| 1.7599E-02                  | 1.6628E-02 | 1.4945E-02 | 1.2819E-02 | 1.0365E-02 | 8.5555E-03 |  |
| 8.2490E-03                  | 8.1999E-03 | 8.0028E-03 | 7.9062E-03 | 8.0021E-03 | 7.9389E-03 |  |
| 7.7502E-03                  | 7.4080E-03 | 7.0491E-03 | 6.9550E-03 | 6.9362E-03 | 6.8662E-03 |  |
| 6.5999E-03                  | 6.3799E-03 | 6.3299E-03 | 6.3908E-03 | 6.3877E-03 | 6.2759E-03 |  |
| 6.1868E-03                  | 6.1293E-03 | 6.0982E-03 | 6.1010E-03 | 6.0752E-03 | 5.8940E-03 |  |
| 5.6672E-03                  | 5.4446E-03 | 5.3850E-03 | 5.2639E-03 | 5.1188E-03 | 5.1029E-03 |  |
| 4.9474E-03                  | 4.7858E-03 | 4.6478E-03 | 4.5890E-03 | 4.5987E-03 | 4.6399E-03 |  |
| 4.6109E-03                  | 4.5269E-03 | 4.3890E-03 | 4.2889E-03 | 4.2085E-03 | 4.0986E-03 |  |
| 4.0007E-03                  | 3.9473E-03 | 3.8819E-03 | 3.7645E-03 | 3.5726E-03 | 3.0449E-03 |  |
| 1.9649E-03                  | 6.0759E-04 | 1.3423E-04 | 2.0504E-05 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |

| MID-ENERGY : 12.82800 (MEV) |            |            |            |            |            |  |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| 5.7118E-02                  | 2.6199E-02 | 2.2697E-02 | 2.6892E-02 | 2.9165E-02 | 2.9685E-02 |  |
| 2.9795E-02                  | 3.1550E-02 | 3.5570E-02 | 5.0612E-02 | 7.0478E-02 | 8.4207E-02 |  |
| 9.2420E-02                  | 9.3141E-02 | 8.4330E-02 | 7.2119E-02 | 5.8956E-02 | 4.3761E-02 |  |
| 3.3396E-02                  | 2.7118E-02 | 2.3394E-02 | 2.0509E-02 | 1.8316E-02 | 1.6922E-02 |  |
| 1.6177E-02                  | 1.5304E-02 | 1.4422E-02 | 1.3721E-02 | 1.2785E-02 | 1.1095E-02 |  |
| 9.2081E-03                  | 8.0723E-03 | 7.6370E-03 | 7.4169E-03 | 7.4413E-03 | 7.3615E-03 |  |
| 7.0680E-03                  | 6.8395E-03 | 6.5811E-03 | 6.2630E-03 | 6.3400E-03 | 6.5211E-03 |  |
| 6.4808E-03                  | 6.1808E-03 | 6.0285E-03 | 5.9641E-03 | 5.8962E-03 | 5.8619E-03 |  |
| 5.7691E-03                  | 5.6329E-03 | 5.5666E-03 | 5.5969E-03 | 5.5941E-03 | 5.5098E-03 |  |
| 5.3336E-03                  | 5.1341E-03 | 4.9955E-03 | 4.9342E-03 | 4.8943E-03 | 4.6587E-03 |  |
| 4.6108E-03                  | 4.5324E-03 | 4.3852E-03 | 4.3035E-03 | 4.2236E-03 | 4.1220E-03 |  |
| 4.1366E-03                  | 4.2030E-03 | 4.1973E-03 | 4.0177E-03 | 3.8000E-03 | 3.8439E-03 |  |
| 3.8260E-03                  | 3.6925E-03 | 3.6083E-03 | 3.5591E-03 | 3.4856E-03 | 3.3619E-03 |  |
| 3.1770E-03                  | 2.7212E-03 | 1.7849E-03 | 5.7264E-04 | 1.3219E-04 | 2.0424E-05 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |

| MID-ENERGY : 13.40300 (MEV) |            |            |            |            |            |  |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| 1.0282E-01                  | 5.1679E-02 | 4.1828E-02 | 4.4250E-02 | 4.1982E-02 | 3.4454E-02 |  |
| 2.9958E-02                  | 3.0707E-02 | 3.4627E-02 | 5.0372E-02 | 7.1079E-02 | 8.5184E-02 |  |
| 9.3609E-02                  | 9.4742E-02 | 8.6829E-02 | 7.5656E-02 | 6.2782E-02 | 4.6299E-02 |  |
| 3.4333E-02                  | 2.6764E-02 | 2.2082E-02 | 1.8641E-02 | 1.6142E-02 | 1.4556E-02 |  |
| 1.4063E-02                  | 1.3898E-02 | 1.3121E-02 | 1.2332E-02 | 1.1981E-02 | 1.1749E-02 |  |
| 1.1161E-02                  | 9.8271E-03 | 8.3815E-03 | 7.4450E-03 | 7.1540E-03 | 6.9283E-03 |  |
| 6.6405E-03                  | 6.4029E-03 | 6.2496E-03 | 5.9562E-03 | 5.6696E-03 | 5.6609E-03 |  |
| 5.7925E-03                  | 5.8618E-03 | 5.7999E-03 | 5.5472E-03 | 5.3949E-03 | 5.4142E-03 |  |
| 5.4471E-03                  | 5.4053E-03 | 5.2466E-03 | 5.1470E-03 | 5.1101E-03 | 5.0441E-03 |  |
| 4.9712E-03                  | 4.8965E-03 | 4.7645E-03 | 4.6305E-03 | 4.5345E-03 | 4.5533E-03 |  |
| 4.3723E-03                  | 4.2163E-03 | 4.1568E-03 | 4.0477E-03 | 3.9490E-03 | 3.8632E-03 |  |
| 3.7937E-03                  | 3.7595E-03 | 3.8074E-03 | 3.7993E-03 | 3.5544E-03 | 3.4553E-03 |  |
| 3.3981E-03                  | 3.4354E-03 | 3.4083E-03 | 3.3494E-03 | 3.2827E-03 | 3.2162E-03 |  |
| 3.1508E-03                  | 3.0809E-03 | 2.9136E-03 | 2.3852E-03 | 1.5599E-03 | 5.2518E-04 |  |
| 1.2427E-04                  | 2.1406E-05 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |
| 0.0000E+00                  | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |  |

Table A.2 (cont.)

MID-ENERGY : 14.00000 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.1350E-01 | 5.9124E-02 | 4.7411E-02 | 4.9000E-02 | 4.4491E-02 | 3.2093E-02 |
| 2.3423E-02 | 2.1769E-02 | 2.2888E-02 | 2.9562E-02 | 3.8204E-02 | 4.3933E-02 |
| 4.7394E-02 | 4.8581E-02 | 4.6928E-02 | 4.3772E-02 | 3.9624E-02 | 3.6116E-02 |
| 4.0718E-02 | 4.9520E-02 | 5.2363E-02 | 4.3426E-02 | 3.2971E-02 | 2.6456E-02 |
| 2.2963E-02 | 2.0788E-02 | 1.8355E-02 | 1.4985E-02 | 1.1906E-02 | 1.0244E-02 |
| 9.7496E-03 | 9.3079E-03 | 8.9875E-03 | 8.5764E-03 | 7.4273E-03 | 6.3352E-03 |
| 5.9036E-03 | 5.8532E-03 | 5.7158E-03 | 5.4063E-03 | 5.1964E-03 | 5.1188E-03 |
| 5.1353E-03 | 5.1157E-03 | 5.0345E-03 | 4.9695E-03 | 4.9193E-03 | 4.9313E-03 |
| 4.9395E-03 | 4.8441E-03 | 4.6932E-03 | 4.6118E-03 | 4.6108E-03 | 4.5205E-03 |
| 4.4131E-03 | 4.4030E-03 | 4.4780E-03 | 4.4559E-03 | 4.3585E-03 | 4.2450E-03 |
| 4.0739E-03 | 3.9107E-03 | 3.8376E-03 | 3.8688E-03 | 3.8556E-03 | 3.7782E-03 |
| 3.6923E-03 | 3.6157E-03 | 3.5874E-03 | 3.5967E-03 | 3.4103E-03 | 3.2620E-03 |
| 3.1663E-03 | 3.1488E-03 | 3.1584E-03 | 3.1909E-03 | 3.1443E-03 | 3.0540E-03 |
| 2.9899E-03 | 2.9372E-03 | 2.8677E-03 | 2.7549E-03 | 2.5949E-03 | 2.1626E-03 |
| 1.5152E-03 | 5.6797E-04 | 1.4475E-04 | 2.6253E-05 | 3.4233E-06 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 14.60000 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.5403E-01 | 8.6052E-02 | 7.0036E-02 | 7.1639E-02 | 6.3480E-02 | 4.1736E-02 |
| 2.5974E-02 | 2.2067E-02 | 2.2431E-02 | 2.8777E-02 | 3.7657E-02 | 4.3673E-02 |
| 4.7186E-02 | 4.7916E-02 | 4.5860E-02 | 4.2690E-02 | 3.8652E-02 | 3.5646E-02 |
| 4.0328E-02 | 4.8556E-02 | 5.2456E-02 | 4.5934E-02 | 3.5289E-02 | 2.7959E-02 |
| 2.3875E-02 | 2.0919E-02 | 1.8101E-02 | 1.5240E-02 | 1.2693E-02 | 1.0669E-02 |
| 9.5320E-03 | 8.6555E-03 | 8.1721E-03 | 8.1883E-03 | 8.1987E-03 | 7.8140E-03 |
| 6.8374E-03 | 5.7063E-03 | 5.3583E-03 | 5.2555E-03 | 5.0759E-03 | 4.7657E-03 |
| 4.5924E-03 | 4.5623E-03 | 4.4491E-03 | 4.3886E-03 | 4.3773E-03 | 4.4251E-03 |
| 4.4143E-03 | 4.3816E-03 | 4.3574E-03 | 4.3452E-03 | 4.1911E-03 | 4.0338E-03 |
| 3.9042E-03 | 3.9037E-03 | 3.9746E-03 | 4.0286E-03 | 4.0176E-03 | 3.8990E-03 |
| 3.8751E-03 | 3.7986E-03 | 3.6492E-03 | 3.5348E-03 | 3.4379E-03 | 3.3716E-03 |
| 3.3693E-03 | 3.3828E-03 | 3.3193E-03 | 3.3539E-03 | 3.1902E-03 | 3.1351E-03 |
| 3.0686E-03 | 2.9333E-03 | 2.8914E-03 | 2.9458E-03 | 2.9367E-03 | 2.9103E-03 |
| 2.8796E-03 | 2.8437E-03 | 2.7899E-03 | 2.7082E-03 | 2.6272E-03 | 2.5236E-03 |
| 2.3838E-03 | 1.9436E-03 | 1.3689E-03 | 5.7384E-04 | 1.5437E-04 | 3.2015E-05 |
| 4.9136E-06 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

MID-ENERGY : 15.22300 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.9398E-01 | 1.1437E-01 | 9.5313E-02 | 9.8044E-02 | 8.7041E-02 | 5.5913E-02 |
| 3.1677E-02 | 2.4702E-02 | 2.4154E-02 | 3.0901E-02 | 4.0671E-02 | 4.7133E-02 |
| 5.0728E-02 | 5.1262E-02 | 4.9465E-02 | 4.6829E-02 | 4.2704E-02 | 3.8202E-02 |
| 4.1901E-02 | 5.0415E-02 | 5.5280E-02 | 4.9815E-02 | 3.8118E-02 | 2.9679E-02 |
| 2.5063E-02 | 2.1579E-02 | 1.8634E-02 | 1.6231E-02 | 1.4170E-02 | 1.2030E-02 |
| 1.0340E-02 | 9.1938E-03 | 8.4101E-03 | 7.8895E-03 | 7.7680E-03 | 7.7212E-03 |
| 7.4875E-03 | 7.1141E-03 | 6.5461E-03 | 5.6672E-03 | 5.0359E-03 | 4.7187E-03 |
| 4.5005E-03 | 4.3754E-03 | 4.3695E-03 | 4.3354E-03 | 4.2367E-03 | 4.1658E-03 |
| 4.1856E-03 | 4.2403E-03 | 4.2831E-03 | 4.2013E-03 | 4.0986E-03 | 4.0085E-03 |
| 3.9203E-03 | 3.7880E-03 | 3.7126E-03 | 3.7575E-03 | 3.8664E-03 | 3.8849E-03 |
| 3.7005E-03 | 3.5617E-03 | 3.5457E-03 | 3.5046E-03 | 3.4151E-03 | 3.2877E-03 |
| 3.1737E-03 | 3.0825E-03 | 3.1505E-03 | 3.1253E-03 | 3.0895E-03 | 3.0736E-03 |
| 3.0567E-03 | 3.0200E-03 | 2.9489E-03 | 2.7964E-03 | 2.7496E-03 | 2.7616E-03 |
| 2.7225E-03 | 2.6600E-03 | 2.6466E-03 | 2.6778E-03 | 2.6063E-03 | 2.4847E-03 |
| 2.3786E-03 | 2.2997E-03 | 2.2143E-03 | 1.8145E-03 | 1.2412E-03 | 6.0381E-04 |
| 1.8478E-04 | 4.1690E-05 | 7.1013E-06 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |

Table A.2 (cont.)

MID-ENERGY : 15.84900 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2.5576E-01 | 1.5993E-01 | 1.3544E-01 | 1.3851E-01 | 1.2191E-01 | 7.5993E-02 |
| 3.8988E-02 | 2.7120E-02 | 2.4666E-02 | 3.0682E-02 | 4.0032E-02 | 4.6057E-02 |
| 4.9332E-02 | 4.9837E-02 | 4.8542E-02 | 4.6889E-02 | 4.3874E-02 | 3.9144E-02 |
| 4.0738E-02 | 4.8387E-02 | 5.4244E-02 | 5.1341E-02 | 4.0786E-02 | 3.1269E-02 |
| 2.5420E-02 | 2.1575E-02 | 1.8687E-02 | 1.6162E-02 | 1.4243E-02 | 1.2777E-02 |
| 1.1268E-02 | 9.8672E-03 | 9.0343E-03 | 8.4685E-03 | 8.1015E-03 | 7.8169E-03 |
| 7.3516E-03 | 6.9504E-03 | 6.9743E-03 | 6.9389E-03 | 6.6389E-03 | 5.8398E-03 |
| 5.0356E-03 | 4.5306E-03 | 4.4213E-03 | 4.4589E-03 | 4.3702E-03 | 4.2928E-03 |
| 4.2565E-03 | 4.2736E-03 | 4.3084E-03 | 4.2692E-03 | 4.0857E-03 | 3.9457E-03 |
| 3.8655E-03 | 3.8090E-03 | 3.7567E-03 | 3.7312E-03 | 3.7524E-03 | 3.7853E-03 |
| 3.7918E-03 | 3.7499E-03 | 3.6352E-03 | 3.6510E-03 | 3.6074E-03 | 3.4472E-03 |
| 3.2642E-03 | 3.0988E-03 | 3.0304E-03 | 3.1381E-03 | 3.0643E-03 | 3.0455E-03 |
| 3.0241E-03 | 2.9987E-03 | 2.9724E-03 | 2.9369E-03 | 2.8752E-03 | 2.7955E-03 |
| 2.7302E-03 | 2.6710E-03 | 2.6217E-03 | 2.5872E-03 | 2.5684E-03 | 2.5806E-03 |
| 2.5388E-03 | 2.4514E-03 | 2.3644E-03 | 2.2730E-03 | 2.1773E-03 | 1.7801E-03 |
| 1.0980E-03 | 5.3797E-04 | 1.8235E-04 | 4.6929E-05 | 9.5943E-06 | 1.4335E-06 |
| 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 |            |            |            |            |            |

MID-ENERGY : 16.49700 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2.3964E+00 | 1.1209E+00 | 3.6458E-01 | 1.3936E-01 | 1.3284E-01 | 1.0791E-01 |
| 7.5122E-02 | 5.5039E-02 | 4.2106E-02 | 3.5716E-02 | 3.9564E-02 | 4.3183E-02 |
| 4.5843E-02 | 4.7669E-02 | 4.7565E-02 | 4.6916E-02 | 4.6139E-02 | 4.5316E-02 |
| 4.5806E-02 | 4.7554E-02 | 4.8906E-02 | 4.7155E-02 | 4.1226E-02 | 3.3890E-02 |
| 2.7466E-02 | 2.2061E-02 | 1.8389E-02 | 1.5830E-02 | 1.4007E-02 | 1.2575E-02 |
| 1.1468E-02 | 1.0468E-02 | 9.5805E-03 | 8.8232E-03 | 8.2976E-03 | 7.9168E-03 |
| 7.6140E-03 | 7.2946E-03 | 6.9736E-03 | 6.7034E-03 | 6.5553E-03 | 6.3951E-03 |
| 6.0492E-03 | 5.4873E-03 | 4.9231E-03 | 4.4920E-03 | 4.2852E-03 | 4.2496E-03 |
| 4.2587E-03 | 4.2814E-03 | 4.3102E-03 | 4.3610E-03 | 4.3651E-03 | 4.2586E-03 |
| 4.1240E-03 | 4.0278E-03 | 4.0057E-03 | 3.9723E-03 | 3.9288E-03 | 3.8782E-03 |
| 3.8790E-03 | 3.9136E-03 | 3.9527E-03 | 3.8750E-03 | 3.7214E-03 | 3.5632E-03 |
| 3.4519E-03 | 3.3654E-03 | 3.2914E-03 | 3.1821E-03 | 3.1032E-03 | 3.0398E-03 |
| 3.0199E-03 | 3.0361E-03 | 3.0500E-03 | 3.0599E-03 | 3.0529E-03 | 2.9966E-03 |
| 2.9102E-03 | 2.8084E-03 | 2.7218E-03 | 2.6432E-03 | 2.5753E-03 | 2.5192E-03 |
| 2.4831E-03 | 2.4914E-03 | 2.4943E-03 | 2.4515E-03 | 2.3909E-03 | 2.2655E-03 |
| 2.0344E-03 | 1.6609E-03 | 1.0282E-03 | 5.7196E-04 | 2.6661E-04 | 9.3864E-05 |
| 2.3298E-05 | 3.1460E-06 | 2.3541E-07 | 4.3686E-09 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 0.0000E+00 |            |            |            |            |            |

MID-ENERGY : 17.14900 (MEV)

|            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2.1485E+00 | 1.0797E+00 | 3.9971E-01 | 1.7277E-01 | 1.6495E-01 | 1.3378E-01 |
| 9.1660E-02 | 6.4908E-02 | 4.6931E-02 | 3.5667E-02 | 3.8272E-02 | 4.1516E-02 |
| 4.3945E-02 | 4.5634E-02 | 4.5742E-02 | 4.5568E-02 | 4.5453E-02 | 4.5548E-02 |
| 4.6383E-02 | 4.7839E-02 | 4.8909E-02 | 4.7568E-02 | 4.2452E-02 | 3.5380E-02 |
| 2.8634E-02 | 2.2797E-02 | 1.8841E-02 | 1.5995E-02 | 1.3912E-02 | 1.2294E-02 |
| 1.1078E-02 | 1.0080E-02 | 9.3193E-03 | 8.7509E-03 | 8.3101E-03 | 7.9014E-03 |
| 7.5231E-03 | 7.1803E-03 | 6.9736E-03 | 6.8790E-03 | 6.7706E-03 | 6.5543E-03 |
| 6.3061E-03 | 6.0878E-03 | 5.8676E-03 | 5.5403E-03 | 5.0871E-03 | 4.7092E-03 |
| 4.4818E-03 | 4.4056E-03 | 4.3773E-03 | 4.3637E-03 | 4.3727E-03 | 4.3579E-03 |
| 4.2649E-03 | 4.1058E-03 | 3.9951E-03 | 3.9824E-03 | 4.0101E-03 | 4.0460E-03 |
| 4.0455E-03 | 4.0124E-03 | 3.9494E-03 | 3.8402E-03 | 3.7098E-03 | 3.5567E-03 |
| 3.5007E-03 | 3.4576E-03 | 3.4033E-03 | 3.2126E-03 | 3.0700E-03 | 3.0577E-03 |
| 3.0490E-03 | 3.0417E-03 | 3.0222E-03 | 2.9945E-03 | 2.9703E-03 | 2.9478E-03 |
| 2.9270E-03 | 2.9034E-03 | 2.8495E-03 | 2.7509E-03 | 2.6795E-03 | 2.6199E-03 |
| 2.5603E-03 | 2.4986E-03 | 2.4496E-03 | 2.4442E-03 | 2.4461E-03 | 2.3930E-03 |
| 2.2998E-03 | 2.1835E-03 | 1.9574E-03 | 1.6764E-03 | 1.0645E-03 | 4.9511E-04 |
| 1.8962E-04 | 5.2479E-05 | 1.1430E-05 | 6.4728E-07 | 1.9155E-08 | 3.1863E-10 |
| 0.0000E+00 |            |            |            |            |            |

Table A.2 (cont.)

| MID-ENERGY : 17.82200 (MEV) |            |            |            |            |            |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1.9484E+00                  | 1.0362E+00 | 4.2536E-01 | 2.0600E-01 | 2.0025E-01 | 1.6356E-01 |
| 1.1205E-01                  | 7.8087E-02 | 5.4316E-02 | 3.6849E-02 | 3.7957E-02 | 4.0898E-02 |
| 4.3166E-02                  | 4.4693E-02 | 4.4811E-02 | 4.4880E-02 | 4.5212E-02 | 4.6028E-02 |
| 4.7160E-02                  | 4.8217E-02 | 4.8570E-02 | 4.6913E-02 | 4.2451E-02 | 3.6153E-02 |
| 2.9594E-02                  | 2.3643E-02 | 1.9790E-02 | 1.7017E-02 | 1.4719E-02 | 1.2709E-02 |
| 1.1244E-02                  | 1.0099E-02 | 9.2301E-03 | 8.6385E-03 | 8.3168E-03 | 8.0133E-03 |
| 7.6255E-03                  | 7.1981E-03 | 6.8817E-03 | 6.7133E-03 | 6.6695E-03 | 6.6322E-03 |
| 6.4967E-03                  | 6.2483E-03 | 6.0592E-03 | 5.9690E-03 | 5.8519E-03 | 5.5942E-03 |
| 5.1773E-03                  | 4.7650E-03 | 4.4725E-03 | 4.3335E-03 | 4.2852E-03 | 4.3000E-03 |
| 4.3252E-03                  | 4.2929E-03 | 4.1457E-03 | 4.0086E-03 | 3.9344E-03 | 3.9400E-03 |
| 3.9698E-03                  | 3.9957E-03 | 3.9800E-03 | 3.8842E-03 | 3.7602E-03 | 3.6213E-03 |
| 3.5931E-03                  | 3.5948E-03 | 3.5992E-03 | 3.3615E-03 | 3.1378E-03 | 3.0987E-03 |
| 3.1041E-03                  | 3.1410E-03 | 3.1185E-03 | 3.0483E-03 | 2.9565E-03 | 2.8596E-03 |
| 2.8355E-03                  | 2.8280E-03 | 2.8197E-03 | 2.8066E-03 | 2.7723E-03 | 2.6946E-03 |
| 2.6387E-03                  | 2.5966E-03 | 2.5476E-03 | 2.4807E-03 | 2.4148E-03 | 2.3745E-03 |
| 2.3481E-03                  | 2.2881E-03 | 2.1649E-03 | 2.0254E-03 | 1.7896E-03 | 1.4734E-03 |
| 1.0463E-03                  | 5.0118E-04 | 1.7620E-04 | 1.1930E-05 | 2.8398E-07 | 1.6550E-08 |
| 5.6018E-07                  |            |            |            |            |            |