

JAERI - M  
92-122

光放射化断面積の評価 (I)

1992年8月

岸田 則生\*

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。  
入手の間合わせは、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 Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 榊原子力資料サービス

## 光放射化断面積の評価(I)

日本原子力研究所東海研究所物理部

岸田 則生\*

(1992年7月23日受理)

電子加速器の保守作業計画立案のために必要な光放射化断面積の核データ評価が要望されている。本報告書は、この要望に応える形で行われた最初の試みについての報告である。今回評価された放射化断面積は、 $^{23}\text{Na}(\gamma, n)^{22}\text{Na}$ 、 $^{26}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$ 、 $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$ 、 $^{46}\text{Ti}(\gamma, n)^{45}\text{Ti}$ 、 $^{52}\text{Cr}(\gamma, n)^{51}\text{Cr}$ 、 $^{55}\text{Mn}(\gamma, n)^{54}\text{Mn}$ 、 $^{59}\text{Co}(\gamma, n)^{58}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ 、 $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ 、 $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$ 、 $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$  反応によって生じる残留放射能に関するものである。選ばれた反応は、標的核種が加速器の構造材に多く含まれ、しかも反応断面積が比較的大きいものである。評価エネルギーは、閾エネルギーから 140 MeV までである。評価の手順は、まず吸収断面積の評価が行われ、次に理論計算コードである MCPHOTO を用いて  $(\gamma, n)$  反応および  $(\gamma, p)$  反応の分岐比が計算されて、放射化断面積が求められた。吸収断面積の評価に際しては、E1 巨大共鳴励起過程のエネルギー領域では実験値が用いられ、準重陽子吸収過程の領域では理論断面積が用いられた。計算結果は巨大共鳴領域の実験データと比較され、評価結果が十分に妥当であることが示された。ただし、準重陽子吸収領域では該当する実験データが全く存在せず、評価値との比較が出来なかったため、評価結果がどの程度の精度を有するかは不明である。

---

本報告書は日本原子力研究所から (株)CRC 総合研究所への委託作業の報告書を改訂したものである。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

\* (株)CRC 総合研究所

Evaluation for Photonuclear Production Cross Sections (I)

Norio KISHIDA\*

Department of Physics  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 23, 1992)

Nuclear data evaluation about radioactive production cross sections of photonuclear reactions, which are used in planning on maintenance work of electron accelerators, has been required in Japanese Nuclear Data Committee. This report represents a result of the first evaluation work about the photonuclear production cross sections which was performed in response to that requirement. The production cross sections of the following reactions were evaluated:  $^{23}\text{Na}(\gamma, n)^{22}\text{Na}$ ,  $^{25}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$ ,  $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$ ,  $^{46}\text{Ti}(\gamma, n)^{45}\text{Ti}$ ,  $^{52}\text{Cr}(\gamma, n)^{51}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Mn}(\gamma, n)^{54}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Co}(\gamma, n)^{58}\text{Co}$ ,  $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ ,  $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ ,  $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$ ,  $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ . The main reasons why these reactions were selected are that the target nuclides are largely included in structural materials of the accelerators and the reactions have relatively large reaction cross sections. Range of incident gamma-ray energies is from the threshold energy to 140 MeV. Photonuclear absorption cross sections were evaluated first. Second, branching ratios of  $(\gamma, n)$  and  $(\gamma, p)$  reactions were calculated using the MCPHOTO code. Finally, the evaluated values of the production cross sections were obtained by making the product of the absorption cross sections and the branching ratios. On evaluating the absorption cross sections, measured cross sections were mainly referred in the giant E1

---

This work has been performed under the Research-in-Trust in 1991 fiscal year between Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) and CRC Research Institute, Inc.

\* CRC Research Institute, Inc.

resonance region, and the other hand, theoretical cross sections were only used in the quasi-deuteron absorption region. The calculated photoneutron cross sections show reasonable accordance with the measured data in the giant E1 resonance region. On the other hand, those in the quasi-deuteron absorption region cannot be compared with experimental data because of no measured cross sections. Hence, it is still not clear to what degree of accuracy the evaluated cross sections have in the latter region.

Keywords: Evaluation, Activation, Cross Section, Photonuclear Reaction, Photoneutron, Photoproton, Exciton Model, Evaporation Model, Calculation, MCPHOTO

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 評価方法 .....	2
2.1 断面積記号の定義 .....	2
2.2 測定断面積の現状 .....	3
2.3 評価手順 .....	4
2.4 中性子放出断面積の評価 .....	5
2.4.1 巨大 E1 共鳴領域の評価 .....	5
2.4.2 準重陽子吸収領域の評価 .....	5
2.5 理論評価 .....	6
2.5.1 レベル密度パラメーター .....	6
2.5.2 エキシトン遷移確率 .....	7
2.5.3 初期エキシトン数 .....	7
2.5.4 クーロン障壁 .....	8
2.5.5 ヒストリー数 .....	8
2.5.6 評価エネルギー点 .....	9
3. 評価結果 .....	10
3.1 1及び2中性子放出断面積 .....	10
3.2 放射化断面積の評価値 .....	10
4. 議 論 .....	11
5. おわりに .....	13
謝 辞 .....	13
参考文献 .....	14

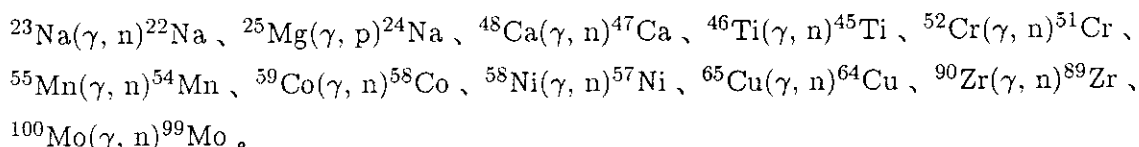
## Contents

1. Introduction .....	1
2. Evaluation Method .....	2
2.1 Definition of Cross-section Symbols .....	2
2.2 Survey of Experimental Data .....	3
2.3 Evaluation Procedure .....	4
2.4 Evaluation for Photoneutron Cross Section .....	5
2.4.1 Evaluation in the Giant El Resonance Region .....	5
2.4.2 Evaluation in the Quasi-deuteron Absorption Region .....	5
2.5 Theoretical Evaluation .....	6
2.5.1 Level Density Parameters .....	6
2.5.2 Transition Rate between Exciton-exciton Interactions .....	7
2.5.3 Initial Exciton Number .....	7
2.5.4 Coulomb Barrier .....	8
2.5.5 Number of History .....	9
2.5.6 Incident Energies .....	9
3. Evaluation Results .....	10
3.1 Single and Double Photoneutron Emission Cross Sections .....	10
3.2 Evaluated Values of Production Cross Sections .....	10
4. Discussion .....	11
5. Conclusions .....	13
Acknowledgments .....	13
References .....	14

## 1. はじめに

従来の核データ整備作業は、中性子を入射粒子とする場合に限られていたが、近年、いろいろな加速器を開発する計画が多くなり、中性子以外の入射粒子に対する核データを整備することが急務となっている。そのうち、光子と原子核との反応データは、電子加速器の遮蔽や残留放射能の計算、および電子線や制動放射ガンマ線を使用した放射性廃棄物の核変換消滅処理に不可欠なデータであるが、世界的に見ても工学的な意味で十分なデータが整備されているとは言えない。この様な状況に鑑みシグマ委員会においても、光核反応断面積の評価が1989年度より本格的に開始された。評価作業を進めるうちに、電子加速器の保守作業計画立案のための残留放射能の計算に必要な光放射化断面積の核データ評価の要望が提出された。現在シグマ委員会では汎用の光核反応断面積ファイルを作成するための評価を行っており、必ずしも電子加速器で必要となる核種の放射化断面積が優先的に評価されているわけではない。しかし、核データ利用者の便宜を考えると、汎用ファイル完成までの長期間利用が出来ないのも問題である。そこで、核データセンターとの協議の結果、放射化断面積の評価をできるだけ早く行うための委託作業が開始された。本報告書は、この作業の結果得られた光放射化断面積の評価値の最初の報告である。

今回の評価では、光核反応断面積計算コードである MCPHOTO コード<sup>1)</sup>を用いて、140 MeV までの光放射化断面積の評価を行った。対象とした反応は以下のとおりである。



選ばれた反応は、標的核種が加速器の構造材に多く含まれ、しかも反応断面積が比較的大きいものである。今回とり上げられなかった反応の中で重要なものについては、来年度以降順次評価を進めて行く予定である。



## 2. 評価方法

### 2.1 断面積記号の定義

まず最初に本報告書で使用する断面積の記号と言葉の定義を行っておく。

1 中性子放出断面積	: $\sigma(\gamma, n) = \sigma(\gamma, 1n)$
1 陽子放出断面積	: $\sigma(\gamma, p) = \sigma(\gamma, 1p)$
中性子放出断面積	: $\sigma(\gamma, nx)$
中性子生成断面積	: $\sigma(\gamma, xn)$
吸収断面積	: $\sigma_{abs}$

$$\begin{aligned} \sigma(\gamma, nx) &= \sigma(\gamma, 1nx) + \sigma(\gamma, 2nx) + \sigma(\gamma, 3nx) + \dots \\ \sigma(\gamma, xn) &= \sigma(\gamma, 1nx) + 2\sigma(\gamma, 2nx) + 3\sigma(\gamma, 3nx) + \dots \\ \sigma(\gamma, 1nx) &= \sigma(\gamma, 1n) + \sigma(\gamma, np) + \sigma(\gamma, n2p) + \sigma(\gamma, n\alpha) + \dots \\ \sigma(\gamma, 2nx) &= \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, 2np) + \sigma(\gamma, 2n2p) + \sigma(\gamma, 2n\alpha) + \dots \\ \sigma(\gamma, 3nx) &= \sigma(\gamma, 3n) + \sigma(\gamma, 3np) + \sigma(\gamma, 3n2p) + \sigma(\gamma, 3n\alpha) + \dots \end{aligned}$$

1 中性子放出断面積	: 1 個の中性子のみを放出する光核反応の断面積。
1 陽子放出断面積	: 1 個の陽子のみを放出する光核反応の断面積。
中性子放出断面積	: 中性子を 1 つ以上放出する光核反応断面積の総和。
中性子生成断面積	: 放出された中性子の総量を表わす断面積。
吸収断面積	: 弾性散乱と非弾性散乱を除いた光核反応断面積の総和。 すなわち、粒子放出を伴う光核反応断面積の総和でもある。
$\sigma(\gamma, 1nx)$	: 放出粒子中に中性子が 1 つしか存在しない光核反応断面積の総和。
$\sigma(\gamma, 2nx)$	: 放出粒子中に中性子が 2 つしか存在しない光核反応断面積の総和。
$\sigma(\gamma, 3nx)$	: 放出粒子中に中性子が 3 つしか存在しない光核反応断面積の総和。

## 2.2 測定断面積の現状

断面積評価に際して、精度の高い測定データが評価対象の全エネルギー範囲にわたって存在しているのが望ましいのだが、残念ながら本評価作業で対象としている反応では部分的にしか存在しない。そこで今回の評価作業では測定値を援用しつつ理論計算を主にして評価を行った。

【 $^{23}\text{Na}$ 、 $^{25}\text{Mg}$ 、 $^{55}\text{Mn}$ 、 $^{59}\text{Co}$ 、 $^{58}\text{Ni}$ 、 $^{65}\text{Cu}$ 、 $^{90}\text{Zr}$ 、 $^{100}\text{Mo}$ 】これらの核では、準単色 $\gamma$ 線を用いた実験で中性子放出断面積が巨大 E1 共鳴エネルギー領域において測定され、Dietrich と Berman の文献<sup>2)</sup>に測定値のグラフがまとめられている。また、測定値の大部分は NEA/DATA-Bank から EXFOR フォーマットのデータとして入手済である。このうち  $^{23}\text{Na}$ 、 $^{59}\text{Co}$ 、 $^{90}\text{Zr}$  については、Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) と CEN Saclay の実験グループによる二つの測定データセットが存在しており、その間には系統的な差異が見られる。また、 $^{23}\text{Na}$  では共鳴構造の違いも見られる。この 2 グループの実験は同様な手法を使用しており、発表された文献類だけから断面積の絶対値の精度のついて、どちらが真値に近いかを第 3 者が判断するのは不可能である。この様な場合、2 つのデータセットの誤差を重みとした荷重平均を取るのも一法である。しかし、両者のビーム分解能の違いから狭い共鳴が失われてしまう危険性が有る。そこで本評価作業では、LLNL の実験グループの指導者である Berman が文献<sup>2)</sup>で示唆しているように、新しい実験の方が測定精度が向上し、より信頼できると考えられるので、最新の測定データのみを使用して光放射化断面積を評価した。ただし、 $^{23}\text{Na}$  は EXFOR データに古いデータしか登録されていないのと、グラフから読み取るとグラフが不鮮明で読み取り誤差が大きくなりそうなので、古いデータを採用した。LLNL と Saclay の測定では、 $(\gamma, 1n_x)$  反応と  $(\gamma, 2n_x)$  反応の断面積を分離測定しているので、理論計算の際必要となるレベル密度パラメーターを測定値から決定可能である。

【 $^{25}\text{Mg}$ 】この核のみ 1 陽子放出断面積を評価することが求められているが、測定データは全く存在しない。しかし、中性子放出断面積が測定<sup>2)</sup>されているので、このデータを基にして理論計算を行って 1 陽子放出断面積を評価した。

【 $^{48}\text{Ca}$ 】この核に関しては、O'Keefe 達<sup>3)</sup>の  $E_\gamma = 12 \sim 26$  MeV おける 1 中性子放出断面積の測定データがあるので、これに基づいて評価を行った。実験は制動放射 $\gamma$ 線を  $^{nat}\text{Ca}$  ターゲットに照射して、 $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}(\beta^-)^{47}\text{Sc}$  反応および  $^{48}\text{Ca}(\gamma, p)^{47}\text{K}(\beta^-)^{47}\text{Ca}(\beta^-)^{47}\text{Sc}$  反応で生じた残留放射能の  $^{47}\text{Sc}$  の  $\gamma$  線を測定することで、 $^{48}\text{Ca}(\gamma, n+p)$  反応の断面積を求めた。また、 $^{48}\text{Ca}(e, p)$  反応の実験を  $E_\gamma = 15 \sim 29$  MeV で行い、仮想光子理論を使用して  $^{48}\text{Ca}(\gamma, p)$  反応の断面積に変換し、これを  $^{48}\text{Ca}(\gamma, n+p)$  反応の断面積より差し引くことで  $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)$  反応の断面積を間接的に算出している。さらに彼らは、 $^{48}\text{Ca}(\gamma, 2n)$  反応の断面積を統計モデルにより見積り  $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)$  反応の断面積に加えることで、中性子放出断面積をも評価している。ところで、

彼らは  $^{48}\text{Ca}(\gamma, np)$  反応を測定していないが、この反応の閾値は  $E_\gamma = 24.2$  MeV である。したがって、測定エネルギー範囲である  $E_\gamma = 12 \sim 26$  MeV においては、 $^{48}\text{Ca}(\gamma, np)$  反応の影響を無視でき、 $\sigma(\gamma, nx) \approx \sigma(\gamma, 1n)$  と考えてよいと思われる。

【 $^{46}\text{Ti}$ 】 この核に関しては、Pywell と Thompson<sup>4)</sup> の  $E_\gamma = 12 \sim 25$  MeV おける 1 中性子放出断面積の測定データがあるので、これに基づいて評価を行った。実験は制動放射  $\gamma$  線を  $^{nat}\text{Ti}$  ターゲットに照射して、 $^{46}\text{Ti}(\gamma, n)^{45}\text{Ti}(\beta^+)^{45}\text{Sc}$ 、 $^{46}\text{Ti}(\gamma, np)^{44}\text{Sc}(\beta^+)^{44}\text{Ca}$  および  $^{46}\text{Ti}(\gamma, 2n)^{45}\text{Ti}(\beta^+)^{45}\text{Sc}$  反応で生じた  $\beta^+$  と、その  $\beta^+$  の対消滅  $\gamma$  線を同時測定して  $\sigma(\gamma, n) + 1.09\sigma(\gamma, np) + 1.36\sigma(\gamma, 2n)$  を求めている。後二者の反応の閾値はそれぞれ 21.67 MeV と 22.08 MeV なので、この測定値は 21.67 MeV までは 1 中性子放出断面積とみなして差し支えはない。

【 $^{52}\text{Cr}$ 】 この核に関しては、Weise 達<sup>5)</sup> の  $E_\gamma = 12 \sim 27$  MeV における  $^{nat}\text{Cr}$  ターゲットに対する中性子放出断面積の測定データがあるので、これに基づいて評価を行った。実験は制動放射  $\gamma$  線を  $^{nat}\text{Cr}$  ターゲット ( $^{52}\text{Cr}$  83.8%) に照射して、Halpern 型の  $4\pi$  中性子検出器で直接中性子を検出し、中性子生成断面積を測定している。次に、蒸発モデルで  $^{52}\text{Cr}(\gamma, 2n)$  反応の分岐比を計算して、それを中性子生成断面積から差し引くことで中性子放出断面積を求めている。従って、この測定値は  $^{52}\text{Cr}$  核のみの断面積ではないけれども、その同位体存在比が 83.8% に達するので、ほぼ  $^{52}\text{Cr}$  に対するものと見なしてよいと思われる。

なお、 $^{48}\text{Ca}$ 、 $^{46}\text{Ti}$ 、 $^{52}\text{Cr}$  に関しては測定値の数値データを入手できなかったので、各文献より読み取った値を使用して評価作業を行った。

### 2.3 評価手順

$^{48}\text{Ca}$  と  $^{46}\text{Ti}$  を除くと、測定された断面積は中性子放出断面積である。従って、1 中性子放出断面積と 1 陽子放出断面積を評価するには、まず吸収断面積を中性子放出断面積から通常とは逆向きに理論評価し、次に  $(\gamma, 1n)$  もしくは  $(\gamma, 1p)$  反応の分岐比を求めて、目的の放射化断面積を評価する必要がある。すなわち、

$$\sigma_{abs} = \frac{\sigma(\gamma, nx)}{R_{nx}}, \quad \sigma(\gamma, 1n) = R_{1n} \sigma_{abs}, \quad \sigma(\gamma, 1p) = R_{1p} \sigma_{abs} \quad (1)$$

である。ここで、 $R_{nx}$ 、 $R_{1n}$ 、 $R_{1p}$  は、それぞれ、中性子放出反応、1 中性子放出反応、1 陽子放出反応の分岐比である。

本評価作業では、これらの分岐比を MCPHOTO コード<sup>1)</sup>を用いて理論評価した。

## 2.4 中性子放出断面積の評価

### 2.4.1 巨大 E1 共鳴領域の評価

中性子放出断面積は主に巨大 E1 共鳴励起のエネルギー領域でしか測定されていない。この励起関数は Lorentz の共鳴公式で良く再現されることが分かっており、実際、<sup>51</sup>V より重い核に関しては、文献<sup>2)</sup>にそのパラメータ値がまとめられている。従って、本評価作業でもパラメータ値が掲載されている <sup>55</sup>Mn、<sup>59</sup>Co、<sup>65</sup>Cu、<sup>90</sup>Zr、<sup>100</sup>Mo に関しては、その値を使用した。また、<sup>25</sup>Mg、<sup>48</sup>Ca、<sup>52</sup>Cr、<sup>58</sup>Ni に関しては、次式で最小自乗適合を行いパラメータ値を決定した。

$$\sigma_{(\gamma, nx)}(E_\gamma) = \sum_{i=1}^2 \sigma_{m_i} \frac{E_\gamma^2 \Gamma_i^2}{(E_\gamma^2 - E_{m_i}^2)^2 + E_\gamma^2 \Gamma_i^2} \quad (2)$$

ここで  $i$  に関する和は、変形核等で共鳴ピークが 2 つ存在する場合にとられる。他の記号の意味は明らかであろう。この公式を使用して計算した断面積は Fig. 1 に例を示すように、反応の立ち上がり付近と高励起側の裾野付近では、実験値との一致はあまり良くないことが多い。従って、不一致が大きい領域では、実験値を目の目でスムージングした値が滑らかに Lorentz 曲線につながるように、中性子放出断面積の評価値を決定した。一方、<sup>23</sup>Na と <sup>46</sup>Ti に関しては、満足できる適合が得られなかったため、実験値を目の目でスムージングして中性子放出断面積の評価値を決定した。その際、<sup>23</sup>Na には巾の狭い共鳴が多数存在するのだが、放射化断面積の評価が最終目的なので、断面積の激しい fluctuation を無視して、評価値が平均的に測定断面積を再現するように評価値を決定した。

Table 1 に 9 核種の Lorentz 共鳴パラメータの値を掲げる。

### 2.4.2 準重陽子吸収領域の評価

巨大 E1 共鳴励起が終わり  $\pi$  粒子発生反応が始まるまでのエネルギー領域での光核反応機構は、主に Levinger<sup>6)</sup> が提唱した準重陽子吸収過程を通じて生ずると考えられている。最近 Chadwick 達<sup>7)</sup> は実験値を非常に良く再現する準重陽子吸収過程の理論断面積を導出したので、本評価作業では彼らの理論値をこの過程の評価値として使用することにした。

今回の評価作業に於て最終的に使用した中性子放出断面積の評価値は、巨大 E1 共鳴励起によるものと準重陽子吸収過程との和をとったものである。ある励起エネルギーで二つの過程を切り換えて、一方の過程のみの断面積を評価値として採用しているわけではない。Chadwick 達の理論式は吸収断面積で与えられているのに対し、Berman 達<sup>2)</sup> の巨大 E1 共鳴の実験値は中性子放出断面積で与えられている。それ故、和は Chadwick 達の理論吸収断面積に MCPHOTO による

中性子放出断面積の分岐比をかけた後に行った。ただし、 $^{23}\text{Na}$  と  $^{46}\text{Ti}$  は共鳴パラメーターが得られてないので、実験値がスムーズに準重陽子吸収過程による中性子放出断面積につながるように評価値を決定した。しかし、この $^{23}\text{Na}$  と  $^{46}\text{Ti}$  に関する評価法は、巨大 E1 共鳴の高エネルギー側の裾を無視していることになるので、中性子放出断面積を過小評価をしているかもしれないという問題が残る。特に軽い核では、巨大 E1 共鳴の高エネルギー側の裾の断面積が 60 MeV 程度になっても準重陽子断面積とほぼ同等の値を持つことが多い。Fig. 2 に  $^{25}\text{Mg}$  の例を示すが、共鳴の裾を無視できないのが分かるだろう。一方、Fig. 3 のように重い核である  $^{90}\text{Zr}$  では、共鳴の裾は準重陽子断面積に較べれば無視できる程度である。何れにせよ高エネルギー側にこのような長い裾を引くのは、(2) 式の Lorentz 共鳴公式の使用にその原因がある。この共鳴の裾の問題は光核反応断面積の評価上重要なので、4. の議論の所で詳しく論じることにする。

Fig. 4~14 に理論評価の基となる中性子放出断面積の測定値と評価値の比較を示す。これについては何ら説明の必要はないであろう。

## 2.5 理論評価

### 2.5.1 レベル密度パラメーター

MCPHOTO コードを利用して理論評価を行う場合、前平衡過程に対する Ericson<sup>8)</sup> の粒子-空孔レベル密度公式

$$\omega(p, h, E_x) = \frac{g (g E_x)^{p+h-1}}{p! h! (p+h-1)!} \quad (3)$$

および平衡過程に対する Weiskopf-Ewing<sup>9)</sup> の複合核レベル密度公式

$$\omega(E_x) = \omega_0 e^{2\sqrt{a(E_x-\delta)}} \quad (4)$$

のレベル密度パラメーター  $g$  および  $a$  が適切に選択されなければならない。特に平衡過程で使用されるレベル密度は  $(\gamma, 2n)$  反応の立ち上がり付近での  $(\gamma, 1n)$  反応と  $(\gamma, 2n)$  反応の分岐比に大きく作用する。幸い、 $^{46}\text{Ti}$ 、 $^{48}\text{Ca}$ 、 $^{52}\text{Cr}$  の 3 核種を除けば  $\sigma(\gamma, 1nx)$  と  $\sigma(\gamma, 2nx)$  が測定されているので、実験値よりレベル密度パラメーターを決定可能である。

$^{48}\text{Ca}$  は O'keeffe 達<sup>3)</sup> 自らが統計蒸発モデルで評価した  $\sigma(\gamma, 1n)$  と  $\sigma(\gamma, 2n)$  を再現するようにレベル密度パラメーターを決定した。 $^{46}\text{Ti}$  と  $^{52}\text{Cr}$  は Berman と Fultz<sup>10)</sup> が砒素からタングステンまでの核種に対する光核反応で決定したレベル密度パラメーターの平均値に近い  $a = A/25 \text{ MeV}^{-1}$  ( $A$  は質量数) を採用した。この値は Weiskopf-Ewing のレベル密度式に対して中性子入

射反応から得られている  $a = A/8 \text{ MeV}^{-1}$  に較べると小さめであるが、光核反応の方が一般に高い励起状態 (20 MeV 近傍) でレベル密度を決定しているのも、その違いが反映されているのかもしれない。Table 2 に今回の理論評価で使用したレベル密度パラメーターの値を掲げる。

レベル密度の対エネルギー補正  $\delta$  は  $^{55}\text{Mn}$  と  $^{65}\text{Cu}$  を除けば、補正を行わない方が実験値の再現が良かったのでゼロとした。 $^{55}\text{Mn}$  と  $^{65}\text{Cu}$  は対エネルギー補正を行わないと、 $\sigma(\gamma, 2n)$  の立ち上がりの形をどのようなレベル密度を使用しても再現できなかつたので、Cameron<sup>9)</sup>の値を使用して補正を行った。

前平衡状態のレベル密度は普通  $g = A/13 \text{ MeV}^{-1}$  が使用されており、今回の理論評価に際しても、この値で特に不都合は生じなかつたので、全ての核種に対して  $g = A/13 \text{ MeV}^{-1}$  を使用した。

### 2.5.2 エキシトン遷移確率

MCPHOTO コードは粒子-空孔状態間の遷移確率の計算に Machner<sup>11)</sup>が与えた実験式を用いている。しかし、彼自身も指摘しているように、その式の値をそのまま用いると前平衡放出成分を過小評価してしまうことが知られている。これは (3) 式において、最大空孔エネルギーが Fermi エネルギーを越えられないという制限を考慮していないためであると考えられている。そこで、本評価では Machner<sup>11)</sup>の薦めに従って、遷移確率を 1/4.8 倍して使用した。これは彼が多くの実験値を再現するように決めた値である。

### 2.5.3 初期エキシトン数

前平衡過程の計算では初期エキシトン数も与えてやらなければならない。巨大 E1 共鳴状態の形成と崩壊を微視的に見れば、1 粒子-1 空孔励起状態がまず形成され、それが前平衡粒子放出を伴いながら多粒子-多空孔状態に遷移し、やがて平衡 (複合核) 状態からの粒子蒸発を経て、一連の反応が終了すると見ることも可能である。従って、巨大 E1 励起の前平衡過程に対しては、1 粒子-1 空孔状態から計算を開始するのが妥当であると考えられる。

一方、準重陽子吸収過程は、準重陽子が入射  $\gamma$  線を吸収して陽子-中性子対を解消し、陽子と中性子が Fermi レベルの上へ励起される過程である。従って、初期状態として 2 粒子-2 空孔状態が形成されると考えるのが自然である。しかし、2 空孔は準重陽子を形成していた励起子だから準重陽子崩壊後も互いに相関しているのも、空孔自由度は 1 であり 2 粒子-1 空孔状態から計算すべきとの Blann 達<sup>12)</sup>の指摘もある。実際、彼らは 2 粒子-1 空孔状態からの計算を行って実験との良い一致を得ている<sup>12)</sup>。2 粒子-1 空孔状態の方が 2 粒子-2 空孔状態よりも粒子放出の確率が高いので、前者の方が  $\sigma(\gamma, 1n)$  や  $\sigma(\gamma, 1p)$  をわずかだが大きく評価する。従って、遮蔽計

算や放射線の安全管理の面から考えると、残留放射能が高い方が安全側の評価となるので、本評価では2粒子-1空孔状態からの計算を行った。

巨大 E1 共鳴励起過程と準重陽子吸収過程は、ある特定の入射エネルギーに於て突然交替すると言うわけではなく、実際は競合過程にある。それ故、本来なら1粒子-1空孔状態と2粒子-1空孔状態の計算を行い、それぞれの吸収断面積の比で理論断面積の和を取って最終的な評価値とすべきである。しかし、MCPHOTPO コードはこの様な計算を行えるようになってない。そこで、1粒子-1空孔状態と2粒子-1空孔状態で計算を行い  $\sigma(\gamma, 1n)$  の大きさの差を調べたところ、5%の差も生じないことが判明したので、今回の評価では次のような計算法を使用した。すなわち、巨大 E1 共鳴励起過程と準重陽子吸収過程の吸収断面積の比が1:1になる入射エネルギー<sup>2</sup>を境にして、1粒子-1空孔状態から2粒子-1空孔状態の計算に変える。ただし、<sup>23</sup>Naと<sup>46</sup>Tiは Lorentz 共鳴公式のパラメーターを得られてないので、近傍核の接続エネルギーを使用した。Table 3 に使用した接続エネルギーの値を掲げる

#### 2.5.4 クーロン障壁

MCPHOTO コードでは逆反応断面積を光学モデルではなく幾何学的断面積で計算している。従って、トンネル効果による荷電粒子のクーロン障壁透過を、障壁の高さに対する減衰因子を導入して間接的に取り込んでいるに過ぎない。そのため Q-値のせいで  $(\gamma, 1n)$  反応に較べ  $(\gamma, 1p)$  反応が enhance される <sup>58</sup>Ni と、クーロン障壁が低く荷電粒子が放出され易い軽核の <sup>23</sup>Na と <sup>25</sup>Mg においては、クーロン障壁の深さを変化させないと  $\sigma(\gamma, 1nx)$  と  $\sigma(\gamma, 2nx)$  の比を再現できなかった。今回の評価では、MCPHOTO コードが通常使用しているの減衰因子の値に、<sup>58</sup>Ni では 0.55 を <sup>23</sup>Na と <sup>25</sup>Mg では 3.5 を乗じて計算を実行した。これは <sup>58</sup>Ni では主に陽子を放出し易くし、<sup>23</sup>Na と <sup>25</sup>Mg では陽子と  $\alpha$  粒子放出を抑制するためである。

#### 2.5.5 ヒストリー数

MCPHOTO コードはモンテカルロ法を採用しているので、計算できる断面積(より正確には分岐比)の最小値はヒストリー数で決まる。今回の計算では、光放射化断面積が利用されるであろう状況と計算時間を勘案して、各入射エネルギー毎に4万ヒストリーの計算を実行した。すなわち、分岐比で  $2.5 \times 10^{-5}$  を持つ反応断面積まで計算していることになる。ただし、今回計算したエネルギー範囲では、 $(\gamma, 1n)$  反応の分岐比がこれ以下になることはなかった。例として <sup>23</sup>Na の 140 MeV の場合を取ると、分岐比が  $161/40000 = 4.025 \times 10^{-3}$  で吸収断面積が 1.21 mb なので、 $\sigma(\gamma, 1n) = 4.87 \mu\text{b}$  になる。この程度のオーダーまで計算されていれば、実用上は問題を生

<sup>2</sup>これを接続エネルギーと定義する。

じないと思われる。

#### 2.5.6 評価エネルギー点

断面積の計算は 40 MeV までは 0.5 MeV おきに、それ以上 140 MeV までは 2.5 MeV おきに行われた。0.5 MeV おきのエネルギーステップは、巨大 E1 共鳴が二山に分離している場合でも、各々の共鳴ピークが見失われない程度の巾になっている。一方、40 MeV 以上では吸収断面積の変化がきわめて緩やかになり、大きなエネルギーステップでも十分補間が可能なので、2.5 MeV のステップが選ばれた。



### 3. 評価結果

#### 3.1 1及び2中性子放出断面積

Fig. 15~32に $^{46}\text{Ti}$ と $^{52}\text{Cr}$ を除く $\sigma(\gamma, 1n)$ と $\sigma(\gamma, 2n)$ の測定値と計算値の比較を示す。 $^{46}\text{Ti}$ と $^{52}\text{Cr}$ に関しては2.2の測定断面積の現状で記したように、 $\sigma(\gamma, 1n)$ と $\sigma(\gamma, 2n)$ を分離して測定していないため、計算値との比較はできなかった。図から明かなように、MCPHOTOによる計算値は巨大E1共鳴領域の測定値を誤差の範囲内でほぼ完全に再現している。一方、準重陽子吸収過程領域では今回評価した核種に対する測定データが存在しないので、計算値との比較は不可能である。しかしながら、Chadwick達の理論吸収断面積は、非常に良く実験を再現することが知られている<sup>7)</sup>。したがって、MCPHOTOによる理論計算は、全エネルギー領域において十分その妥当性が確かめられたことになる。それ故、理論計算より得られた $(\gamma, 1n)$ 反応と $(\gamma, 1p)$ 反応の放射化断面積の評価値もまた、十分信頼に足ると思われる。

#### 3.2 放射化断面積の評価値

Table 4~14に本評価で得られた $(\gamma, 1n)$ 反応と $(\gamma, 1p)$ 反応( $^{25}\text{Mg}$ のみ)の評価値を掲げる。

## 4. 議 論

準重陽子吸収領域での中性子放出断面積の評価において、軽い核では入射 $\gamma$ 線のエネルギーが60MeVぐらいに達しても、E1巨大共鳴励起の断面積が無視できないほど大きく、その原因はBerman達<sup>2)</sup>が採用した(2)式のLorentzの共鳴公式に由来することを2.4.2において指摘した。

元来(2)式の中性子放出断面積は、1950年にSteinwedelとJensen<sup>13)</sup>が中性子と陽子を構成要素とする2流体の双極運動モデルから導かれた式である。彼らは流体力学と古典電磁気学を使用して吸収断面積に対する共鳴式を得た。入射エネルギーと無関係な定数部分をまとめて $\sigma^{SJ}$ と置くと、彼らの共鳴式は

$$\sigma_{abs}^{SJ}(E) = \sigma^{SJ} \frac{(E\Gamma)^2}{(E^2 - E_{res}^2)^2 + (E\Gamma)^2} \quad (5)$$

で与えられる。(5)式が(2)式で和を1つしか取らない場合に相当しているのは明かであろう。

その後1964年にDanosとGreiner<sup>14)</sup>は量子力学に基づくE1巨大共鳴励起の光吸収断面積を導いた。 $k$ を波数とし定数部分を $\sigma^{DG}$ とまとめて記すと

$$\sigma_{abs}^{DG}(E) = \frac{\sigma^{DG} E_{res}}{\Gamma(E) kE} \frac{[E\Gamma(E)]^2}{\left[E^2 - E_{res}^2 - \frac{\Gamma(E)^2}{4}\right]^2 + [E\Gamma(E)]^2} \quad (6)$$

と書かれる。この式は以下の3つの点で(5)式と異なっている。

- (a) 共鳴巾がエネルギーと共に変化し一定ではない。
- (b) 共鳴のピーク位置が $E_{res}$ ではなく $\sqrt{E_{res}^2 - \frac{\Gamma(E)^2}{4}}$ である。
- (c) 因子 $1/kE$ が有るために、共鳴の形が純粋なLorentz関数と異なる。

(a)は入射エネルギーの上昇にともない、開く反応のチャンネル数が増加することから容易に理解できよう。しかしこの変化は緩やかなので、通常は $\Gamma$ を一定としても大きな誤差は生じない。

(b)は光子が質量ゼロ粒子に為に生ずる<sup>14)</sup>。共鳴位置を実験から求め、理論計算で出したE1準位エネルギーと比較するときにはこの差は重要である。しかし、今回のような断面積評価では、必要なのは断面積そのものであり共鳴エネルギーではないので、どちらで実験値を解析しようと断面積の適合値は同じであるから、この差が問題となるようなことは無い。

(c)も光子が量子力学的な粒子であるために生じており、共鳴ピークから遠く離れた裾においてこの因子を無視すれば大きな誤差を生じる可能性がある。熱中性子の共鳴吸収(この場合は

Lorentz ではなく Breit-Wigner の共鳴公式であるが) や低励起分離準位へのガンマ線の共鳴吸収では、共鳴巾が巨大共鳴の数 MeV に較べれば極端に狭く、通常良く行なわれる  $1/kE$  を定数  $1/k_{res}E_{res}$  で置き換える近似を使用しても全く問題はない。この近似を使用すると (5) 式と (6) 式は同等の入射エネルギー依存性を持つ。したがって、古典論で導出された (5) 式は、共鳴ピークの近傍でのみ成立する式であると考えべきであろう。吸収断面積の高エネルギー側の裾での入射エネルギー依存性は光子の場合  $E = \hbar ck$  なので、(6) 式は  $1/E^3$  に比例し (5) 式は  $1/E^2$  に比例する。すなわち、(6) 式は (5) 式のように高エネルギー側に大きな裾をいつまでも引かないことが期待される。

Fig. 33 に  $^{90}\text{Zr}$  の中性子放出断面積を両式で最小自乗適合した場合の適合値と実験値の比較を示す。厳密なことを言えば、この実験値は吸収断面積ではないので、中性子放出巾を掛けた式で適合を行なうべきであるが、クーロン障壁が高い  $^{90}\text{Zr}$  の場合  $\sigma_{abs} \approx \sigma(\gamma, nx)$  なので、この補正を行なう必要はない。ただし、閾値以下で計算値が有限なのは中性子放出の分岐比を乗じていないためである。図から明らかなように (6) 式の適合値は、30MeV を越えればほとんど無視しても差し支えない大きさになっていることが分かる。したがって、(5) 式を用いた今回の評価値は、準重陽子吸収領域において少し過大評価になっている可能性が大きい(ただし、 $^{23}\text{Na}$  と  $^{46}\text{Ti}$  は除く)。今後、(5) 式を用いて 30MeV 以上の評価を行なう場合は、Lane と Lynn<sup>15)</sup> が導入した減衰因子を含んだ形の表式で実験解析をした方が良いのかもしれない。

Fig. 33 を見ると実験値との一致に関する限りにおいては、(5) 式の方が優れているのは明かであるが、このことはただちに (6) 式が誤りであることを単純に意味するものではない。その意味はこの共鳴を一つの共鳴準位で解析してはならないことを示唆していると考えべきである。E1 巨大共鳴の微視的理論によれば、巨大共鳴は個々の小さな共鳴の重ね合わせで表わせることが分かっているし、(6) 式自体も本来この小さな共鳴に対して導かれた式であるので、多準位共鳴解析を行なう方がより自然と思われる。

## 5. おわりに

本評価作業の結果、電子加速器の保守点検作業で問題となる、代表的な残留放射能に対する放射化断面積の評価値が得られた。光放射化断面積の本格的評価は世界的に見ても初めての試みであり、何分測定値の乏しいこともあり、ほとんどを理論評価に頼らざるを得なかった。特に、準重陽子吸収過程が支配するエネルギー領域では、1核種も実験との比較は行われず、評価値の信頼性が確立されたとは言えない。今後、この領域での測定が行われ、本評価値の有用性が確認されることが望まれる。

## 謝 辞

本作業の実行に当たり、核データセンターの皆様、特に菊池康之室長、千葉敏研究員、中川庸雄研究員の諸氏にはいろいろな点で大変お世話になりました。また、CRC 総研の角谷浩享氏には原稿執筆時に有益な助言ならびにご意見をいただきました。ここに以上の諸氏に対して大いなる謝意を表したい。

## 5. おわりに

本評価作業の結果、電子加速器の保守点検作業で問題となる、代表的な残留放射能に対する放射化断面積の評価値が得られた。光放射化断面積の本格的評価は世界的に見ても初めての試みであり、何分測定値の乏しいこともあり、ほとんどを理論評価に頼らざるを得なかった。特に、準重陽子吸収過程が支配するエネルギー領域では、1核種も実験との比較は行われず、評価値の信頼性が確立されたとは言えない。今後、この領域での測定が行われ、本評価値の有用性が確認されることが望まれる。

## 謝 辞

本作業の実行に当たり、核データセンターの皆様、特に菊池康之室長、千葉敏研究員、中川庸雄研究員の諸氏にはいろいろな点で大変お世話になりました。また、CRC 総研の角谷浩享氏には原稿執筆時に有益な助言ならびにご意見をいただきました。ここに以上の諸氏に対して大いなる謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) 岸田則生、角谷浩享 : JAERI-memo 02-291,(1990).
- 2) Dietrich, S. S. and Berman, B. L. : Atomic Data and Nuclear Data Tables, **38**, 199(1988).
- 3) O'Keefe, G. J., Thompson, M. N., Assafiri, Y. I., Pywell, R. E. and Shoda, K. : Nucl. Phys., **A469**, 239(1987).
- 4) Pywell, R. E. and Thompson, M. N. : Nucl. Phys., **A318**, 461(1979).
- 5) Weise, J., Thompson, M. N., Shoda, K. and Tsubota, H. : Aust. J. Phys., **30**, 401(1977).
- 6) Levinger, J. S. : Phys. Rev., **84**, 43(1951).
- 7) Chadwick, M. B., Obložinský, Hodgson, P. E. and Reffo, G. : Phys. Rev. C, **44**, 814(1991).
- 8) Ericson, T. : Adv. in Phys., **9**, 425(1960).
- 9) Weisskopf, V. F. and Ewing, D. H. : Phys. Rev., **57**, 472(1940).
- 10) Berman, B. L. and Fultz, S. C. : Rev. Mod. Phys., **47**, 713(1975).
- 11) Machner, M. : Z. Phys. A - Atoms and Nuclei, **302**, 125(1981).
- 12) Blann, M., Berman B. L. and Komoto, T. T. : Phys. Rev. C, **28**, 2286(1983).
- 13) Steinwedel, von H. and Jensen, J. H. D. : Z. Naturforschg, **5a**, 413(1950).
- 14) Danos, M. and Greiner, W. : Phys. Rev., **134**, B284(1964).
- 15) Lane, A. M. and Lynn, J. E. : Nucl. Phys., **11**, 646(1959).

Table 1 Giant electric-dipole resonance parameters of Lorentzian line.

Nucleus	$E_{m_1}$ (MeV)	$\sigma_{m_1}$ (mb)	$\Gamma_1$ (MeV)	$E_{m_2}$ (MeV)	$\sigma_{m_2}$ (mb)	$\Gamma_2$ (MeV)
$^{25}\text{Mg}$	23.7	24.6	10.7			
$^{48}\text{Ca}$	19.5	105	6.20			
$^{52}\text{Cr}$	17.2	55.5	2.8	20.2	52.9	6.3
$^{55}\text{Mn}$	16.82	51.4	4.33	20.09	45.2	4.09
$^{59}\text{Co}$	16.43	28.3	2.73	18.66	58.4	7.38
$^{58}\text{Ni}$	18.25	24.0	6.75			
$^{65}\text{Cu}$	15.70	75.2	6.89			
$^{90}\text{Zr}$	16.74	211	4.16			
$^{100}\text{Mo}$	15.74	171	7.81			

Table 2 Nuclear level-density parameters of the evaporation model calculation.

Nucleus	$a$ (MeV $^{-1}$ )
$^{23}\text{Na}$	$A/25.00$
$^{25}\text{Mg}$	$A/25.00$
$^{48}\text{Ca}$	$A/32.00$
$^{46}\text{Ti}$	$A/25.00$
$^{52}\text{Cr}$	$A/25.00$
$^{55}\text{Mn}$	$A/27.50$
$^{59}\text{Co}$	$A/33.71$
$^{58}\text{Ni}$	$A/25.00$
$^{65}\text{Cu}$	$A/8.125$
$^{90}\text{Zr}$	$A/72.00$
$^{100}\text{Mo}$	$A/28.57$

Table 3 Crossing energy. At this energy the calculation using MCPHOTO is changed from the calculation with the 1p-1h initial state to the calculation with 2p-1h one.

Nucleus	$E$ (MeV)
$^{23}\text{Na}$	42.5
$^{25}\text{Mg}$	50.0
$^{48}\text{Ca}$	45.5
$^{46}\text{Ti}$	45.0
$^{52}\text{Cr}$	42.0
$^{55}\text{Mn}$	35.0
$^{59}\text{Co}$	41.0
$^{58}\text{Ni}$	38.0
$^{65}\text{Cu}$	39.5
$^{90}\text{Zr}$	37.5
$^{100}\text{Mo}$	46.0



Table 4 Evaluated values for  $^{23}\text{Na}(\gamma, n)^{24}\text{Na}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	9.40000E+00	4.000E+01	2.78492E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	9.50000E+00	4.250E+01	1.19063E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	9.60000E+00	4.500E+01	9.55364E-02
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	9.70000E+00	4.750E+01	7.95275E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	9.80000E+00	5.000E+01	6.70694E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	9.90000E+00	5.250E+01	5.34810E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	1.00000E+01	5.500E+01	4.73481E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.02270E+01	5.750E+01	4.41562E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	9.91048E+00	6.000E+01	3.69373E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	9.56081E+00	6.250E+01	3.72289E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	9.08126E+00	6.500E+01	3.47973E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	8.53799E+00	6.750E+01	3.27106E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	7.83882E+00	7.000E+01	2.75766E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	7.25601E+00	7.250E+01	2.61737E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	6.65334E+00	7.500E+01	2.29305E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	5.78991E+00	7.750E+01	2.18136E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	4.99032E+00	8.000E+01	2.13363E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	4.28312E+00	8.250E+01	1.82542E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	3.61504E+00	8.500E+01	1.90413E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	2.96489E+00	8.750E+01	1.96431E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	2.38894E+00	9.000E+01	1.60758E-02
1.050E+01	0.00000E+00	3.050E+01	1.91985E+00	9.250E+01	1.49140E-02
1.100E+01	0.00000E+00	3.100E+01	1.56965E+00	9.500E+01	1.35163E-02
1.150E+01	0.00000E+00	3.150E+01	1.34394E+00	9.750E+01	1.24484E-02
1.200E+01	0.00000E+00	3.200E+01	1.13334E+00	1.000E+02	1.22652E-02
1.250E+01	1.27461E-01	3.250E+01	1.00789E+00	1.025E+02	1.07856E-02
1.300E+01	7.50000E-01	3.300E+01	8.66445E-01	1.050E+02	9.82876E-03
1.350E+01	1.30000E+00	3.350E+01	7.59132E-01	1.075E+02	1.09151E-02
1.400E+01	2.00000E+00	3.400E+01	6.91806E-01	1.100E+02	9.49108E-03
1.450E+01	3.00000E+00	3.450E+01	5.98228E-01	1.125E+02	9.34299E-03
1.500E+01	3.90000E+00	3.500E+01	5.55088E-01	1.150E+02	8.40916E-03
1.550E+01	5.00000E+00	3.550E+01	5.06267E-01	1.175E+02	8.02125E-03
1.600E+01	6.80000E+00	3.600E+01	4.85479E-01	1.200E+02	6.97341E-03
1.650E+01	8.00000E+00	3.650E+01	4.35064E-01	1.225E+02	6.95949E-03
1.700E+01	8.50000E+00	3.700E+01	4.04301E-01	1.250E+02	6.59368E-03
1.750E+01	8.90000E+00	3.750E+01	3.76790E-01	1.275E+02	6.25923E-03
1.800E+01	9.00000E+00	3.800E+01	3.46513E-01	1.300E+02	5.17335E-03
1.850E+01	9.20000E+00	3.850E+01	3.30967E-01	1.325E+02	5.89562E-03
1.900E+01	9.28000E+00	3.900E+01	3.11842E-01	1.350E+02	5.30370E-03
1.950E+01	9.34000E+00	3.950E+01	2.92304E-01	1.375E+02	5.67782E-03
				1.400E+02	4.87035E-03

Table 5 Evaluated values for  $^{25}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	2.22571E-01	4.000E+01	2.27877E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	2.86861E-01	4.250E+01	1.86071E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	4.25859E-01	4.500E+01	1.70416E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	5.39725E-01	4.750E+01	1.45193E-01
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	6.91629E-01	5.000E+01	1.31023E-01
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	7.91351E-01	5.250E+01	2.88383E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	9.66287E-01	5.500E+01	2.54055E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.07311E+00	5.750E+01	2.15674E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	1.16140E+00	6.000E+01	1.87533E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	1.25577E+00	6.250E+01	1.93940E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	1.23219E+00	6.500E+01	1.67679E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	1.22203E+00	6.750E+01	1.54819E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	1.19532E+00	7.000E+01	1.24824E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	1.13662E+00	7.250E+01	1.17111E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	1.10808E+00	7.500E+01	1.24551E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	1.01325E+00	7.750E+01	1.08936E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	8.96684E-01	8.000E+01	9.62481E-03
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	8.53872E-01	8.250E+01	8.02608E-03
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	7.51950E-01	8.500E+01	8.36113E-03
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	7.21217E-01	8.750E+01	7.24441E-03
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	6.47288E-01	9.000E+01	6.84045E-03
1.050E+01	0.00000E+00	3.050E+01	6.32308E-01	9.250E+01	6.51699E-03
1.100E+01	0.00000E+00	3.100E+01	5.62309E-01	9.500E+01	6.02986E-03
1.150E+01	0.00000E+00	3.150E+01	5.38257E-01	9.750E+01	5.54051E-03
1.200E+01	0.00000E+00	3.200E+01	5.00076E-01	1.000E+02	5.37276E-03
1.250E+01	0.00000E+00	3.250E+01	4.76119E-01	1.025E+02	4.91245E-03
1.300E+01	0.00000E+00	3.300E+01	4.33893E-01	1.050E+02	5.17925E-03
1.350E+01	0.00000E+00	3.350E+01	4.42878E-01	1.075E+02	3.78749E-03
1.400E+01	0.00000E+00	3.400E+01	3.89645E-01	1.100E+02	4.23218E-03
1.450E+01	0.00000E+00	3.450E+01	3.68682E-01	1.125E+02	4.09158E-03
1.500E+01	0.00000E+00	3.500E+01	3.51284E-01	1.150E+02	3.70067E-03
1.550E+01	0.00000E+00	3.550E+01	3.27958E-01	1.175E+02	3.36566E-03
1.600E+01	0.00000E+00	3.600E+01	3.18039E-01	1.200E+02	3.36318E-03
1.650E+01	0.00000E+00	3.650E+01	3.05107E-01	1.225E+02	2.69269E-03
1.700E+01	1.89479E-03	3.700E+01	2.78446E-01	1.250E+02	2.35781E-03
1.750E+01	1.05567E-02	3.750E+01	2.78407E-01	1.275E+02	2.53814E-03
1.800E+01	3.06311E-02	3.800E+01	2.46081E-01	1.300E+02	2.41199E-03
1.850E+01	4.95057E-02	3.850E+01	2.45689E-01	1.325E+02	2.58069E-03
1.900E+01	8.63327E-02	3.900E+01	2.38230E-01	1.350E+02	2.16982E-03
1.950E+01	1.43139E-01	3.950E+01	2.18520E-01	1.375E+02	2.51862E-03
				1.400E+02	2.57798E-03

Table 6 Evaluated values for  $^{48}\text{Ca}(\gamma, n)^{47}\text{Ca}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	6.24648E+01	4.000E+01	3.54429E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	5.22136E+01	4.250E+01	3.06369E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	4.18365E+01	4.500E+01	2.74568E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	3.27276E+01	4.750E+01	6.79440E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	2.51518E+01	5.000E+01	5.52790E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	1.96016E+01	5.250E+01	5.08373E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	1.53953E+01	5.500E+01	4.91483E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.18572E+01	5.750E+01	4.37479E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	9.35655E+00	6.000E+01	4.03337E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	7.72233E+00	6.250E+01	3.42273E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	6.15868E+00	6.500E+01	3.08485E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	5.09084E+00	6.750E+01	2.58545E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	4.20484E+00	7.000E+01	2.65967E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	3.48496E+00	7.250E+01	2.60266E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	2.94714E+00	7.500E+01	2.09641E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	2.52463E+00	7.750E+01	2.20712E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	2.20667E+00	8.000E+01	1.73853E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	1.88050E+00	8.250E+01	1.33604E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	1.62330E+00	8.500E+01	1.56023E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	1.44150E+00	8.750E+01	1.37679E-02
1.000E+01	3.87088E-01	3.000E+01	1.30184E+00	9.000E+01	1.23709E-02
1.050E+01	2.00000E+00	3.050E+01	1.13781E+00	9.250E+01	1.39049E-02
1.100E+01	3.50000E+00	3.100E+01	1.03823E+00	9.500E+01	1.35556E-02
1.150E+01	6.50000E+00	3.150E+01	9.54627E-01	9.750E+01	1.06727E-02
1.200E+01	8.00000E+00	3.200E+01	9.08732E-01	1.000E+02	1.18770E-02
1.250E+01	1.10000E+01	3.250E+01	7.94163E-01	1.025E+02	1.04297E-02
1.300E+01	1.33430E+01	3.300E+01	7.45535E-01	1.050E+02	9.02905E-03
1.350E+01	1.59190E+01	3.350E+01	6.94175E-01	1.075E+02	9.01700E-03
1.400E+01	1.90710E+01	3.400E+01	6.38523E-01	1.100E+02	9.54388E-03
1.450E+01	2.29470E+01	3.450E+01	5.94049E-01	1.125E+02	8.94425E-03
1.500E+01	2.77280E+01	3.500E+01	5.56300E-01	1.150E+02	7.51906E-03
1.550E+01	3.36290E+01	3.550E+01	5.14154E-01	1.175E+02	7.81807E-03
1.600E+01	4.08750E+01	3.600E+01	5.01056E-01	1.200E+02	8.23083E-03
1.650E+01	4.96560E+01	3.650E+01	4.71709E-01	1.225E+02	7.77921E-03
1.700E+01	6.00160E+01	3.700E+01	4.61186E-01	1.250E+02	6.82839E-03
1.750E+01	7.08811E+01	3.750E+01	4.31052E-01	1.275E+02	5.85208E-03
1.800E+01	7.83536E+01	3.800E+01	4.29270E-01	1.300E+02	4.97895E-03
1.850E+01	8.11621E+01	3.850E+01	3.96368E-01	1.325E+02	5.14927E-03
1.900E+01	7.88769E+01	3.900E+01	3.85090E-01	1.350E+02	5.25150E-03
1.950E+01	7.20937E+01	3.950E+01	3.74035E-01	1.375E+02	5.79619E-03
				1.400E+02	4.62664E-03

Table 7 Evaluated values for  $^{46}\text{Ti}(\gamma, n)^{45}\text{Ti}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	1.80000E+01	4.000E+01	3.87305E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	1.70000E+01	4.250E+01	3.47291E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	1.59000E+01	4.500E+01	2.99421E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	1.48500E+01	4.750E+01	9.81818E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	1.38000E+01	5.000E+01	8.47129E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	1.26000E+01	5.250E+01	7.32207E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	1.14948E+01	5.500E+01	6.35478E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	9.75105E+00	5.750E+01	6.05608E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	8.40676E+00	6.000E+01	5.68586E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	7.10843E+00	6.250E+01	4.70905E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	5.61139E+00	6.500E+01	4.43989E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	4.62535E+00	6.750E+01	4.11742E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	3.96410E+00	7.000E+01	3.65874E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	3.39053E+00	7.250E+01	3.56891E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	2.91461E+00	7.500E+01	3.33579E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	2.52803E+00	7.750E+01	3.19556E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	2.11162E+00	8.000E+01	2.80847E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	1.78681E+00	8.250E+01	2.81379E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	1.55546E+00	8.500E+01	2.61772E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	1.34992E+00	8.750E+01	2.63459E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	1.22281E+00	9.000E+01	2.24261E-02
1.050E+01	0.00000E+00	3.050E+01	1.06535E+00	9.250E+01	2.01650E-02
1.100E+01	0.00000E+00	3.100E+01	9.93972E-01	9.500E+01	2.21691E-02
1.150E+01	0.00000E+00	3.150E+01	9.09314E-01	9.750E+01	2.16976E-02
1.200E+01	0.00000E+00	3.200E+01	8.46208E-01	1.000E+02	1.63116E-02
1.250E+01	0.00000E+00	3.250E+01	7.96933E-01	1.025E+02	1.57595E-02
1.300E+01	0.00000E+00	3.300E+01	7.10457E-01	1.050E+02	1.74747E-02
1.350E+01	6.00000E+00	3.350E+01	6.95231E-01	1.075E+02	1.43337E-02
1.400E+01	1.16000E+01	3.400E+01	6.44960E-01	1.100E+02	1.30040E-02
1.450E+01	1.35000E+01	3.450E+01	6.12960E-01	1.125E+02	1.40609E-02
1.500E+01	1.66000E+01	3.500E+01	5.81862E-01	1.150E+02	1.31294E-02
1.550E+01	2.10000E+01	3.550E+01	5.52482E-01	1.175E+02	1.20733E-02
1.600E+01	2.30000E+01	3.600E+01	5.45249E-01	1.200E+02	1.16596E-02
1.650E+01	1.85000E+01	3.650E+01	5.19513E-01	1.225E+02	1.05651E-02
1.700E+01	1.80000E+01	3.700E+01	4.91434E-01	1.250E+02	9.71172E-03
1.750E+01	1.95000E+01	3.750E+01	4.71458E-01	1.275E+02	9.66641E-03
1.800E+01	2.32000E+01	3.800E+01	4.61516E-01	1.300E+02	8.68466E-03
1.850E+01	2.28000E+01	3.850E+01	4.49429E-01	1.325E+02	9.53078E-03
1.900E+01	2.05000E+01	3.900E+01	4.23515E-01	1.350E+02	7.31794E-03
1.950E+01	1.92500E+01	3.950E+01	4.10259E-01	1.375E+02	8.03938E-03
				1.400E+02	7.65051E-03

Table 8 Evaluated values for  $^{52}\text{Cr}(\gamma, n)^{51}\text{Cr}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	6.75000E+01	4.000E+01	3.66620E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	6.40000E+01	4.250E+01	1.24032E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	5.95000E+01	4.500E+01	1.08056E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	5.07518E+01	4.750E+01	9.50990E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	3.55413E+01	5.000E+01	8.49329E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	3.23523E+01	5.250E+01	7.45795E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	2.88391E+01	5.500E+01	6.68959E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	2.22609E+01	5.750E+01	5.99126E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	1.73439E+01	6.000E+01	5.47823E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	1.45296E+01	6.250E+01	4.73605E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	1.23659E+01	6.500E+01	4.24478E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	1.01537E+01	6.750E+01	4.24046E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	7.70147E+00	7.000E+01	4.15319E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	5.92944E+00	7.250E+01	3.88016E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	4.58577E+00	7.500E+01	3.46701E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	3.54305E+00	7.750E+01	3.64426E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	2.84976E+00	8.000E+01	2.87597E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	2.44980E+00	8.250E+01	2.66485E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	2.06600E+00	8.500E+01	2.42351E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	1.76495E+00	8.750E+01	2.29274E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	1.49286E+00	9.000E+01	2.01453E-02
1.050E+01	0.00000E+00	3.050E+01	1.34282E+00	9.250E+01	2.44036E-02
1.100E+01	0.00000E+00	3.100E+01	1.17849E+00	9.500E+01	2.07312E-02
1.150E+01	0.00000E+00	3.150E+01	1.02403E+00	9.750E+01	1.90908E-02
1.200E+01	0.00000E+00	3.200E+01	9.19067E-01	1.000E+02	1.75102E-02
1.250E+01	5.00000E+00	3.250E+01	8.37010E-01	1.025E+02	1.61733E-02
1.300E+01	1.00000E+01	3.300E+01	7.59100E-01	1.050E+02	1.74309E-02
1.350E+01	1.15000E+01	3.350E+01	6.99112E-01	1.075E+02	1.60667E-02
1.400E+01	1.75000E+01	3.400E+01	6.21224E-01	1.100E+02	1.33225E-02
1.450E+01	2.25000E+01	3.450E+01	5.75906E-01	1.125E+02	1.18419E-02
1.500E+01	2.55680E+01	3.500E+01	5.53514E-01	1.150E+02	1.19684E-02
1.550E+01	3.30000E+01	3.550E+01	5.21764E-01	1.175E+02	1.25982E-02
1.600E+01	5.00000E+01	3.600E+01	4.96761E-01	1.200E+02	1.08420E-02
1.650E+01	6.35690E+01	3.650E+01	4.65703E-01	1.225E+02	1.11751E-02
1.700E+01	7.25000E+01	3.700E+01	4.50958E-01	1.250E+02	9.51575E-03
1.750E+01	8.16600E+01	3.750E+01	4.19177E-01	1.275E+02	9.29854E-03
1.800E+01	8.50000E+01	3.800E+01	4.15294E-01	1.300E+02	9.26492E-03
1.850E+01	7.20000E+01	3.850E+01	3.95749E-01	1.325E+02	8.44103E-03
1.900E+01	7.10000E+01	3.900E+01	3.83914E-01	1.350E+02	9.57151E-03
1.950E+01	7.00000E+01	3.950E+01	3.79067E-01	1.375E+02	7.79643E-03
				1.400E+02	6.92612E-03

Table 9 Evaluated values for  $^{55}\text{Mn}(\gamma, n)^{54}\text{Mn}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	6.02147E+01	4.000E+01	1.12950E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	5.11024E+01	4.250E+01	9.65540E-02
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	3.98067E+01	4.500E+01	8.80453E-02
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	3.03177E+01	4.750E+01	7.83155E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	2.37855E+01	5.000E+01	6.79959E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	1.84440E+01	5.250E+01	5.96295E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	1.43692E+01	5.500E+01	6.46422E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.12738E+01	5.750E+01	5.43486E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	9.28219E+00	6.000E+01	4.86070E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	7.28162E+00	6.250E+01	4.53806E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	5.93718E+00	6.500E+01	4.17991E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	5.02308E+00	6.750E+01	4.35663E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	4.15981E+00	7.000E+01	3.64141E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	3.40047E+00	7.250E+01	3.38185E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	2.89083E+00	7.500E+01	2.95759E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	2.53165E+00	7.750E+01	2.98041E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	2.16203E+00	8.000E+01	2.73971E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	1.85545E+00	8.250E+01	2.32897E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	1.60753E+00	8.500E+01	2.39562E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	1.41461E+00	8.750E+01	2.17901E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	1.22664E+00	9.000E+01	2.36038E-02
1.050E+01	4.28100E+00	3.050E+01	1.14032E+00	9.250E+01	2.10503E-02
1.100E+01	5.21100E+00	3.100E+01	1.04717E+00	9.500E+01	2.06193E-02
1.150E+01	6.38000E+00	3.150E+01	9.71247E-01	9.750E+01	1.81440E-02
1.200E+01	7.86900E+00	3.200E+01	8.67394E-01	1.000E+02	1.58591E-02
1.250E+01	9.78800E+00	3.250E+01	7.82014E-01	1.025E+02	1.44489E-02
1.300E+01	1.22960E+01	3.300E+01	6.95306E-01	1.050E+02	1.52960E-02
1.350E+01	1.56100E+01	3.350E+01	6.19298E-01	1.075E+02	1.49315E-02
1.400E+01	2.00170E+01	3.400E+01	5.72628E-01	1.100E+02	1.31350E-02
1.450E+01	2.58580E+01	3.450E+01	5.72907E-01	1.125E+02	1.19277E-02
1.500E+01	3.34050E+01	3.500E+01	5.11563E-01	1.150E+02	1.17631E-02
1.550E+01	4.25240E+01	3.550E+01	2.27964E-01	1.175E+02	1.12040E-02
1.600E+01	5.20850E+01	3.600E+01	1.96823E-01	1.200E+02	1.14770E-02
1.650E+01	5.97190E+01	3.650E+01	1.74665E-01	1.225E+02	8.93304E-03
1.700E+01	6.40000E+01	3.700E+01	1.67675E-01	1.250E+02	1.03843E-02
1.750E+01	5.90000E+01	3.750E+01	1.58435E-01	1.275E+02	9.12109E-03
1.800E+01	5.60000E+01	3.800E+01	1.41059E-01	1.300E+02	8.34817E-03
1.850E+01	6.20000E+01	3.850E+01	1.26660E-01	1.325E+02	9.08219E-03
1.900E+01	6.50000E+01	3.900E+01	1.24294E-01	1.350E+02	7.53658E-03
1.950E+01	6.60391E+01	3.950E+01	1.21610E-01	1.375E+02	7.40992E-03
				1.400E+02	6.37868E-03

Table 10 Evaluated values for  $^{59}\text{Co}(\gamma, n)^{58}\text{Co}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	5.20243E+01	4.000E+01	3.70798E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	4.19415E+01	4.250E+01	1.19109E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	3.48591E+01	4.500E+01	1.07697E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	2.80274E+01	4.750E+01	9.00102E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	2.17214E+01	5.000E+01	7.86201E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	1.75722E+01	5.250E+01	7.04626E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	1.42261E+01	5.500E+01	6.60181E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.14935E+01	5.750E+01	5.71572E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	9.64013E+00	6.000E+01	4.98916E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	8.02258E+00	6.250E+01	5.00778E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	6.57890E+00	6.500E+01	4.33507E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	5.67039E+00	6.750E+01	3.66386E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	4.93851E+00	7.000E+01	3.50165E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	4.32359E+00	7.250E+01	3.34419E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	3.65061E+00	7.500E+01	3.52686E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	3.23811E+00	7.750E+01	3.29495E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	2.85037E+00	8.000E+01	2.58139E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	2.50559E+00	8.250E+01	2.46092E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	2.28072E+00	8.500E+01	2.68442E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	2.00142E+00	8.750E+01	2.17690E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	1.86624E+00	9.000E+01	2.17443E-02
1.050E+01	1.50000E+00	3.050E+01	1.58660E+00	9.250E+01	2.48054E-02
1.100E+01	4.50000E+00	3.100E+01	1.47993E+00	9.500E+01	2.10289E-02
1.150E+01	7.50000E+00	3.150E+01	1.37930E+00	9.750E+01	1.73186E-02
1.200E+01	1.10390E+01	3.200E+01	1.27770E+00	1.000E+02	1.83264E-02
1.250E+01	1.32970E+01	3.250E+01	1.15746E+00	1.025E+02	1.65122E-02
1.300E+01	1.61240E+01	3.300E+01	1.06418E+00	1.050E+02	1.66584E-02
1.350E+01	1.97210E+01	3.350E+01	1.00338E+00	1.075E+02	1.36767E-02
1.400E+01	2.43900E+01	3.400E+01	9.32521E-01	1.100E+02	1.29804E-02
1.450E+01	3.05840E+01	3.450E+01	8.00472E-01	1.125E+02	1.38540E-02
1.500E+01	3.89260E+01	3.500E+01	7.31134E-01	1.150E+02	1.25220E-02
1.550E+01	4.98530E+01	3.550E+01	6.55857E-01	1.175E+02	1.41545E-02
1.600E+01	6.19640E+01	3.600E+01	5.77205E-01	1.200E+02	1.29193E-02
1.650E+01	7.40000E+01	3.650E+01	5.34604E-01	1.225E+02	1.07105E-02
1.700E+01	7.40000E+01	3.700E+01	5.27954E-01	1.250E+02	9.02267E-03
1.750E+01	6.70000E+01	3.750E+01	4.84436E-01	1.275E+02	1.04389E-02
1.800E+01	6.30000E+01	3.800E+01	4.29894E-01	1.300E+02	8.91003E-03
1.850E+01	7.00000E+01	3.850E+01	4.14972E-01	1.325E+02	7.60260E-03
1.900E+01	6.80000E+01	3.900E+01	3.85348E-01	1.350E+02	8.19119E-03
1.950E+01	6.15089E+01	3.950E+01	3.64227E-01	1.375E+02	7.78333E-03
				1.400E+02	6.12924E-03

Table 11 Evaluated values for  $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	2.00000E+01	4.000E+01	1.26951E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	1.90000E+01	4.250E+01	1.05782E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	1.80000E+01	4.500E+01	8.54591E-02
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	1.70663E+01	4.750E+01	7.33022E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	1.59199E+01	5.000E+01	6.60923E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	1.42640E+01	5.250E+01	6.12800E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	1.24861E+01	5.500E+01	5.26514E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.09982E+01	5.750E+01	5.30933E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	9.63021E+00	6.000E+01	4.58684E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	8.35392E+00	6.250E+01	4.12819E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	7.32748E+00	6.500E+01	4.08522E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	6.25661E+00	6.750E+01	3.66557E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	5.51852E+00	7.000E+01	3.39772E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	4.83196E+00	7.250E+01	3.04758E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	4.30326E+00	7.500E+01	3.13706E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	3.81913E+00	7.750E+01	2.84977E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	3.43911E+00	8.000E+01	2.52187E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	3.03741E+00	8.250E+01	2.06594E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	2.78044E+00	8.500E+01	2.25402E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	2.46415E+00	8.750E+01	2.24201E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	2.22950E+00	9.000E+01	2.18418E-02
1.050E+01	0.00000E+00	3.050E+01	1.98110E+00	9.250E+01	1.86039E-02
1.100E+01	0.00000E+00	3.100E+01	1.88871E+00	9.500E+01	1.80512E-02
1.150E+01	0.00000E+00	3.150E+01	1.73031E+00	9.750E+01	1.87133E-02
1.200E+01	0.00000E+00	3.200E+01	1.48120E+00	1.000E+02	1.79553E-02
1.250E+01	8.00000E-01	3.250E+01	1.40419E+00	1.025E+02	1.41325E-02
1.300E+01	2.40000E+00	3.300E+01	1.24601E+00	1.050E+02	1.35514E-02
1.350E+01	4.30000E+00	3.350E+01	1.15024E+00	1.075E+02	1.68517E-02
1.400E+01	6.70000E+00	3.400E+01	1.01171E+00	1.100E+02	1.25375E-02
1.450E+01	9.00000E+00	3.450E+01	8.99961E-01	1.125E+02	1.28469E-02
1.500E+01	1.12200E+01	3.500E+01	8.12231E-01	1.150E+02	1.12768E-02
1.550E+01	1.34310E+01	3.550E+01	7.32378E-01	1.175E+02	1.15522E-02
1.600E+01	1.59030E+01	3.600E+01	6.56553E-01	1.200E+02	1.19854E-02
1.650E+01	1.84880E+01	3.650E+01	5.86689E-01	1.225E+02	9.39186E-03
1.700E+01	2.09160E+01	3.700E+01	5.43474E-01	1.250E+02	9.33801E-03
1.750E+01	2.28240E+01	3.750E+01	4.86251E-01	1.275E+02	8.88615E-03
1.800E+01	2.38670E+01	3.800E+01	4.29452E-01	1.300E+02	8.15484E-03
1.850E+01	2.38710E+01	3.850E+01	1.64147E-01	1.325E+02	8.56110E-03
1.900E+01	2.29130E+01	3.900E+01	1.44801E-01	1.350E+02	6.79451E-03
1.950E+01	2.12670E+01	3.950E+01	1.33518E-01	1.375E+02	8.61978E-03
				1.400E+02	6.75362E-03



Table 12 Evaluated values for  $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	1.63719E+01	4.000E+01	1.14086E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	1.15543E+01	4.250E+01	1.04049E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	7.97185E+00	4.500E+01	8.68555E-02
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	5.54935E+00	4.750E+01	8.59638E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	4.01204E+00	5.000E+01	6.73942E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	3.06978E+00	5.250E+01	6.42382E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	2.38261E+00	5.500E+01	5.12618E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	1.95043E+00	5.750E+01	5.28272E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	1.62775E+00	6.000E+01	4.92624E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	1.39998E+00	6.250E+01	4.70759E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	1.19789E+00	6.500E+01	4.33792E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	1.10102E+00	6.750E+01	3.94672E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	9.71983E-01	7.000E+01	3.39424E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	9.03378E-01	7.250E+01	3.48079E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	8.16254E-01	7.500E+01	3.10087E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	7.86743E-01	7.750E+01	3.41355E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	7.31411E-01	8.000E+01	2.83138E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	6.86263E-01	8.250E+01	2.29657E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	6.45592E-01	8.500E+01	2.33037E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	6.02228E-01	8.750E+01	2.04014E-02
1.000E+01	8.00000E-01	3.000E+01	5.84000E-01	9.000E+01	2.39404E-02
1.050E+01	6.00000E+00	3.050E+01	5.66749E-01	9.250E+01	1.90424E-02
1.100E+01	1.00000E+01	3.100E+01	5.39013E-01	9.500E+01	1.54775E-02
1.150E+01	1.50000E+01	3.150E+01	5.07841E-01	9.750E+01	1.78042E-02
1.200E+01	1.80000E+01	3.200E+01	5.01320E-01	1.000E+02	1.44664E-02
1.250E+01	2.25000E+01	3.250E+01	4.77765E-01	1.025E+02	1.73556E-02
1.300E+01	2.75000E+01	3.300E+01	4.59390E-01	1.050E+02	1.41147E-02
1.350E+01	3.40000E+01	3.350E+01	4.44540E-01	1.075E+02	1.26561E-02
1.400E+01	4.00000E+01	3.400E+01	4.30718E-01	1.100E+02	1.14383E-02
1.450E+01	5.00000E+01	3.450E+01	3.97705E-01	1.125E+02	1.21536E-02
1.500E+01	5.91250E+01	3.500E+01	3.90877E-01	1.150E+02	1.03617E-02
1.550E+01	6.64950E+01	3.550E+01	3.98691E-01	1.175E+02	9.84868E-03
1.600E+01	7.20920E+01	3.600E+01	3.82159E-01	1.200E+02	1.02377E-02
1.650E+01	7.49440E+01	3.650E+01	3.74348E-01	1.225E+02	1.08961E-02
1.700E+01	7.46440E+01	3.700E+01	3.77736E-01	1.250E+02	8.68357E-03
1.750E+01	7.15180E+01	3.750E+01	3.67078E-01	1.275E+02	9.81442E-03
1.800E+01	6.54583E+01	3.800E+01	3.45761E-01	1.300E+02	9.25567E-03
1.850E+01	5.10343E+01	3.850E+01	3.48428E-01	1.325E+02	8.54419E-03
1.900E+01	3.63196E+01	3.900E+01	3.25785E-01	1.350E+02	6.55494E-03
1.950E+01	2.46567E+01	3.950E+01	3.15182E-01	1.375E+02	7.82196E-03
				1.400E+02	6.25575E-03

Table 13 Evaluated values for  $^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	8.90000E+01	4.000E+01	2.49845E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	8.10000E+01	4.250E+01	2.01020E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	7.50000E+01	4.500E+01	1.74531E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	6.97168E+01	4.750E+01	1.55880E-01
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	6.44205E+01	5.000E+01	1.22702E-01
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	5.85915E+01	5.250E+01	1.14076E-01
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	5.22342E+01	5.500E+01	1.07351E-01
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	4.30356E+01	5.750E+01	9.67932E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	3.52563E+01	6.000E+01	7.88820E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	2.55198E+01	6.250E+01	7.66145E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	1.93123E+01	6.500E+01	7.14489E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	1.51296E+01	6.750E+01	5.81714E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	1.16630E+01	7.000E+01	5.67161E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	8.92879E+00	7.250E+01	5.36823E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	6.91873E+00	7.500E+01	5.58687E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	5.29649E+00	7.750E+01	5.40629E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	4.09986E+00	8.000E+01	4.40612E-02
8.500E+00	0.00000E+00	2.850E+01	3.29547E+00	8.250E+01	4.05353E-02
9.000E+00	0.00000E+00	2.900E+01	2.81896E+00	8.500E+01	3.91597E-02
9.500E+00	0.00000E+00	2.950E+01	2.48215E+00	8.750E+01	3.63884E-02
1.000E+01	0.00000E+00	3.000E+01	2.13599E+00	9.000E+01	3.14746E-02
1.050E+01	0.00000E+00	3.050E+01	1.89472E+00	9.250E+01	3.29608E-02
1.100E+01	0.00000E+00	3.100E+01	1.70316E+00	9.500E+01	2.72092E-02
1.150E+01	0.00000E+00	3.150E+01	1.52299E+00	9.750E+01	2.67564E-02
1.200E+01	3.00000E+00	3.200E+01	1.35478E+00	1.000E+02	2.72004E-02
1.250E+01	1.20000E+01	3.250E+01	1.25378E+00	1.025E+02	2.73764E-02
1.300E+01	3.10000E+01	3.300E+01	1.14739E+00	1.050E+02	2.42576E-02
1.350E+01	4.30000E+01	3.350E+01	1.03483E+00	1.075E+02	2.63644E-02
1.400E+01	6.30000E+01	3.400E+01	9.68465E-01	1.100E+02	1.77582E-02
1.450E+01	8.50000E+01	3.450E+01	8.79145E-01	1.125E+02	2.17748E-02
1.500E+01	1.15000E+02	3.500E+01	8.28737E-01	1.150E+02	1.94194E-02
1.550E+01	1.52413E+02	3.550E+01	7.87210E-01	1.175E+02	1.79855E-02
1.600E+01	1.86315E+02	3.600E+01	7.35684E-01	1.200E+02	1.59671E-02
1.650E+01	2.08188E+02	3.650E+01	7.12516E-01	1.225E+02	1.53845E-02
1.700E+01	2.07803E+02	3.700E+01	6.90091E-01	1.250E+02	1.70734E-02
1.750E+01	1.87095E+02	3.750E+01	6.42650E-01	1.275E+02	1.63059E-02
1.800E+01	1.57261E+02	3.800E+01	3.19352E-01	1.300E+02	1.25240E-02
1.850E+01	1.30000E+02	3.850E+01	3.01417E-01	1.325E+02	1.48479E-02
1.900E+01	1.14000E+02	3.900E+01	2.99283E-01	1.350E+02	1.26553E-02
1.950E+01	1.00000E+02	3.950E+01	2.77680E-01	1.375E+02	1.26667E-02
				1.400E+02	1.34853E-02

Table 14 Evaluated values for  $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$  production cross section.

E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)	E (MeV)	$\sigma$ (mb)
0.000E+00	0.00000E+00	2.000E+01	1.06036E+01	4.000E+01	4.82792E-01
5.000E-01	0.00000E+00	2.050E+01	8.69971E+00	4.250E+01	4.29440E-01
1.000E+00	0.00000E+00	2.100E+01	6.94230E+00	4.500E+01	3.76587E-01
1.500E+00	0.00000E+00	2.150E+01	5.81420E+00	4.750E+01	8.14702E-02
2.000E+00	0.00000E+00	2.200E+01	4.82900E+00	5.000E+01	7.31551E-02
2.500E+00	0.00000E+00	2.250E+01	3.91328E+00	5.250E+01	5.69914E-02
3.000E+00	0.00000E+00	2.300E+01	3.46466E+00	5.500E+01	5.74728E-02
3.500E+00	0.00000E+00	2.350E+01	3.00264E+00	5.750E+01	5.70983E-02
4.000E+00	0.00000E+00	2.400E+01	2.68262E+00	6.000E+01	4.92050E-02
4.500E+00	0.00000E+00	2.450E+01	2.27811E+00	6.250E+01	4.24390E-02
5.000E+00	0.00000E+00	2.500E+01	2.12543E+00	6.500E+01	3.69454E-02
5.500E+00	0.00000E+00	2.550E+01	1.94919E+00	6.750E+01	3.67718E-02
6.000E+00	0.00000E+00	2.600E+01	1.76350E+00	7.000E+01	3.41833E-02
6.500E+00	0.00000E+00	2.650E+01	1.66292E+00	7.250E+01	3.03553E-02
7.000E+00	0.00000E+00	2.700E+01	1.47640E+00	7.500E+01	2.98235E-02
7.500E+00	0.00000E+00	2.750E+01	1.37949E+00	7.750E+01	2.36924E-02
8.000E+00	0.00000E+00	2.800E+01	1.26471E+00	8.000E+01	2.17479E-02
8.500E+00	2.00000E+00	2.850E+01	1.27264E+00	8.250E+01	2.19751E-02
9.000E+00	8.00000E+00	2.900E+01	1.14576E+00	8.500E+01	2.05071E-02
9.500E+00	1.60000E+01	2.950E+01	1.12885E+00	8.750E+01	2.01427E-02
1.000E+01	2.60000E+01	3.000E+01	1.00114E+00	9.000E+01	1.71045E-02
1.050E+01	3.75000E+01	3.050E+01	9.86287E-01	9.250E+01	1.41893E-02
1.100E+01	4.70000E+01	3.100E+01	9.24483E-01	9.500E+01	1.27197E-02
1.150E+01	6.00000E+01	3.150E+01	8.56760E-01	9.750E+01	1.41968E-02
1.200E+01	7.25000E+01	3.200E+01	8.07588E-01	1.000E+02	1.23950E-02
1.250E+01	9.00000E+01	3.250E+01	7.72835E-01	1.025E+02	1.23194E-02
1.300E+01	1.03000E+02	3.300E+01	7.63213E-01	1.050E+02	1.22414E-02
1.350E+01	1.23385E+02	3.350E+01	7.48011E-01	1.075E+02	1.18071E-02
1.400E+01	1.39707E+02	3.400E+01	7.02904E-01	1.100E+02	9.13072E-03
1.450E+01	1.50190E+02	3.450E+01	6.76617E-01	1.125E+02	7.75625E-03
1.500E+01	1.41461E+02	3.500E+01	6.51031E-01	1.150E+02	8.73528E-03
1.550E+01	1.21515E+02	3.550E+01	6.20267E-01	1.175E+02	6.93566E-03
1.600E+01	9.87614E+01	3.600E+01	6.25498E-01	1.200E+02	7.88641E-03
1.650E+01	7.70563E+01	3.650E+01	6.31006E-01	1.225E+02	6.02141E-03
1.700E+01	5.86340E+01	3.700E+01	5.94586E-01	1.250E+02	6.94701E-03
1.750E+01	4.38005E+01	3.750E+01	5.66836E-01	1.275E+02	6.06309E-03
1.800E+01	3.22058E+01	3.800E+01	5.78787E-01	1.300E+02	6.23378E-03
1.850E+01	2.40072E+01	3.850E+01	4.99253E-01	1.325E+02	7.52446E-03
1.900E+01	1.79734E+01	3.900E+01	5.18165E-01	1.350E+02	7.24102E-03
1.950E+01	1.37822E+01	3.950E+01	5.17105E-01	1.375E+02	4.77784E-03
				1.400E+02	4.83393E-03

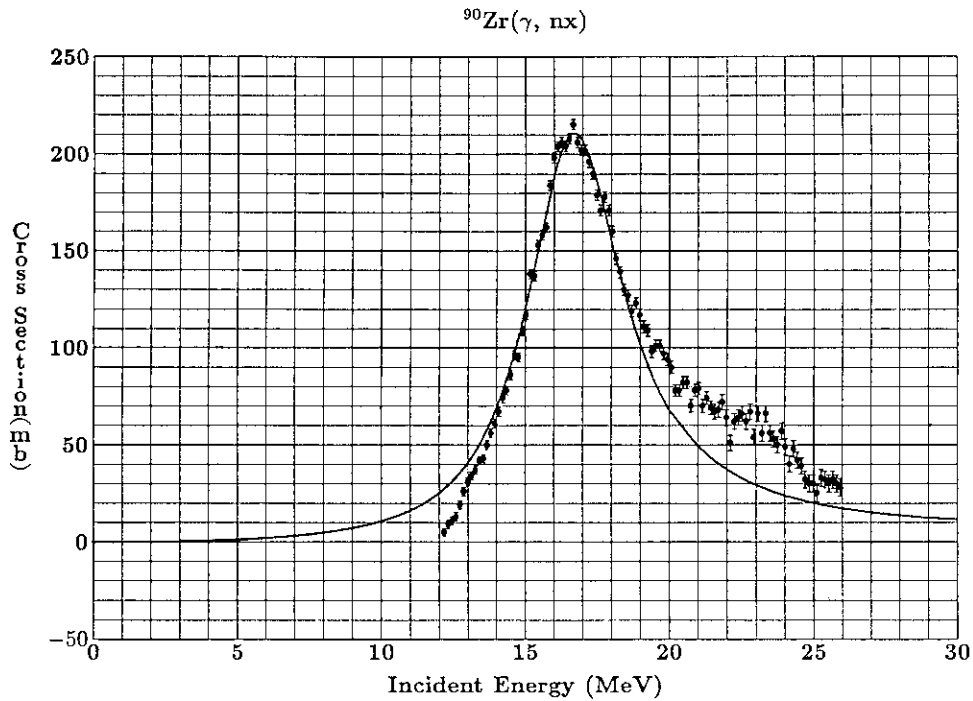


Fig. 1 Comparison between measured cross section (solid circles with error bars) and calculated ones (solid line) based on the Lorentzian resonance formula for  $^{90}\text{Zr}(\gamma, nx)$  reaction cross sections.

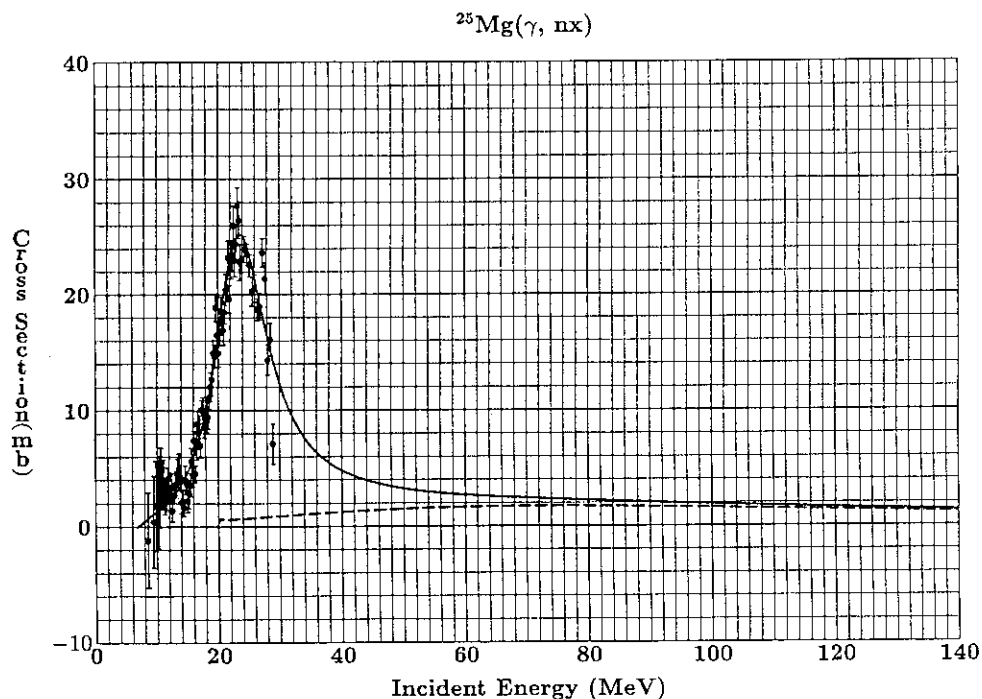


Fig. 2 Comparison between measured (solid circles with error bars) and theoretical cross sections for the  $^{25}\text{Mg}(\gamma, nx)$  reaction. The solid line represents sum cross sections of the giant E1 resonance and the quasi-deuteron absorption process. The broken line represents photoneutron cross sections for the latter process only. Hence, the difference between the two lines represents cross sections for the former excitation process.

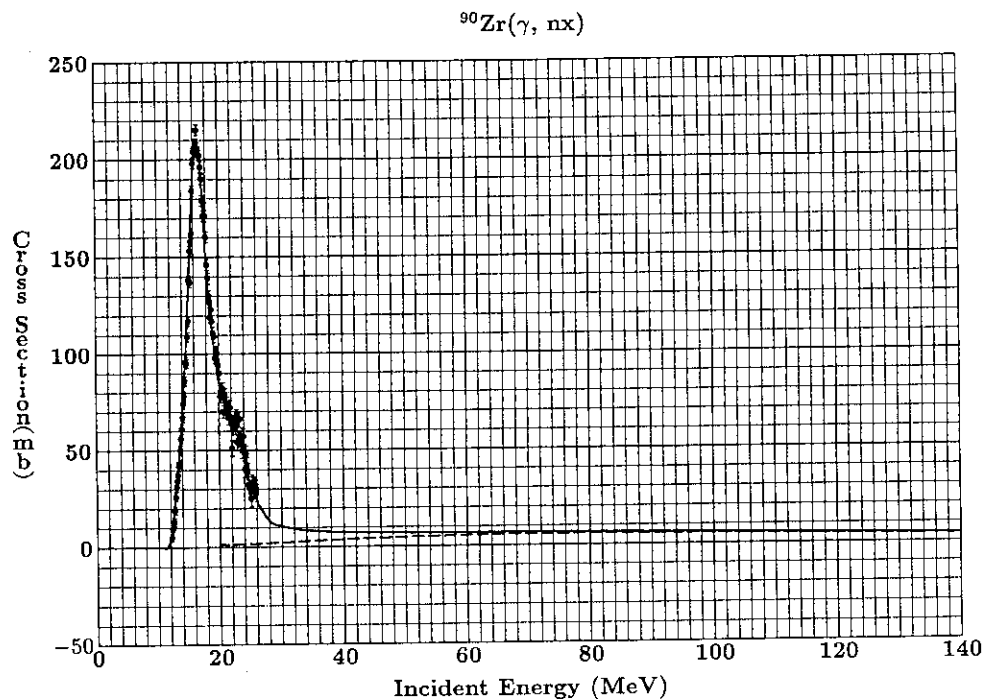


Fig. 3 Comparison between measured (solid circles with error bars) and theoretical cross sections for the  $^{90}\text{Zr}(\gamma, nx)$  reaction. The solid line represents sum cross sections of the giant E1 resonance and the quasi-deuteron absorption process. The broken line represents photoneutron cross sections for the latter process only. Hence, the difference between the two lines represents cross sections for the former excitation process.

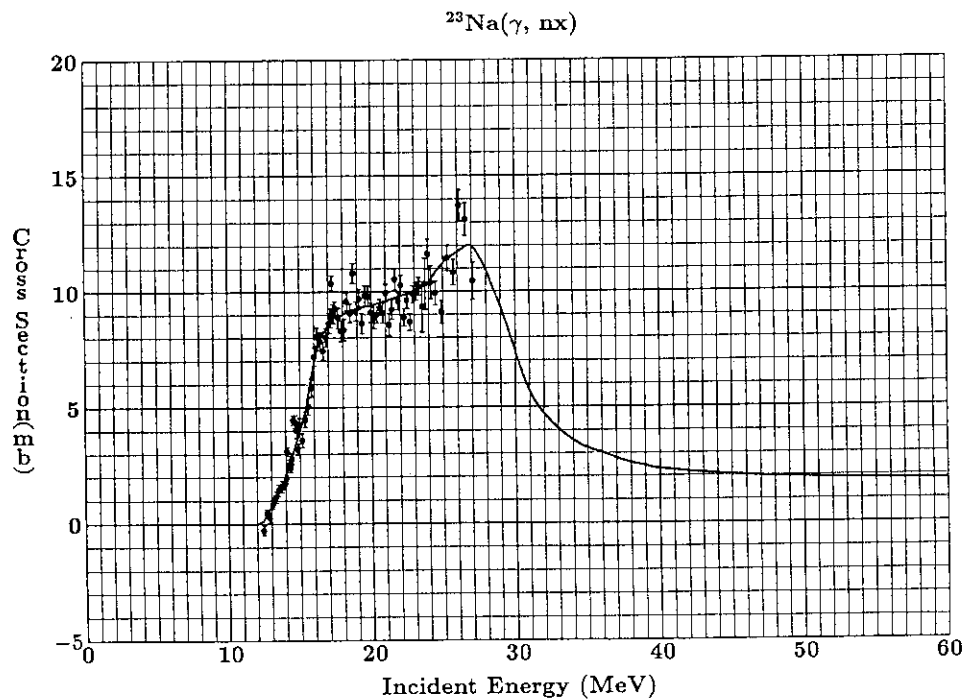


Fig. 4 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{23}\text{Na}$ .

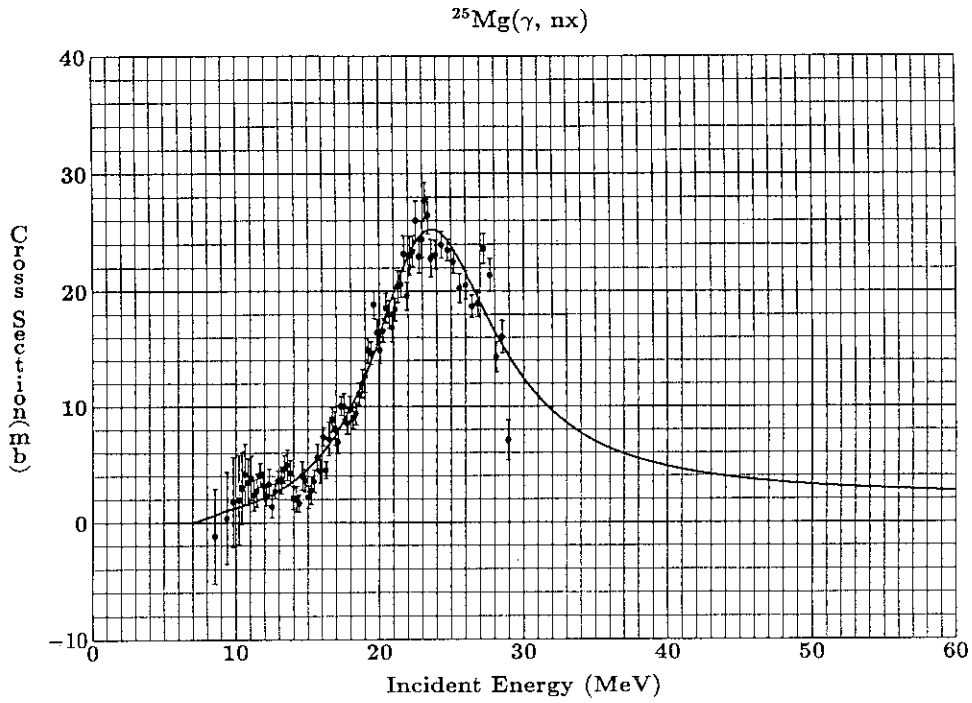


Fig. 5 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{25}\text{Mg}$ .

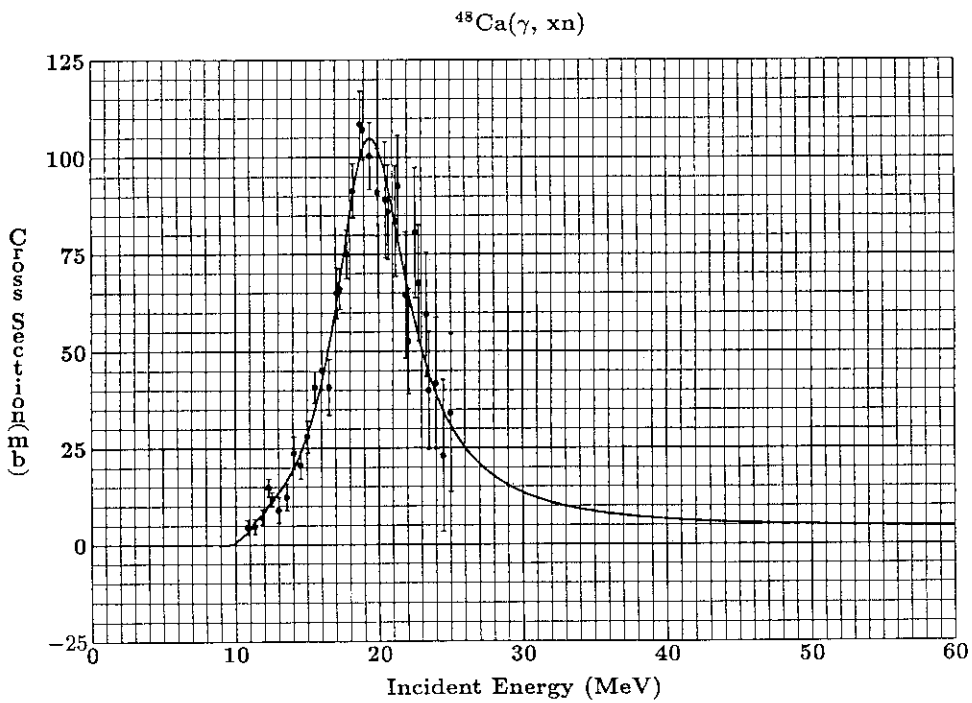


Fig. 6 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{48}\text{Ca}$ .

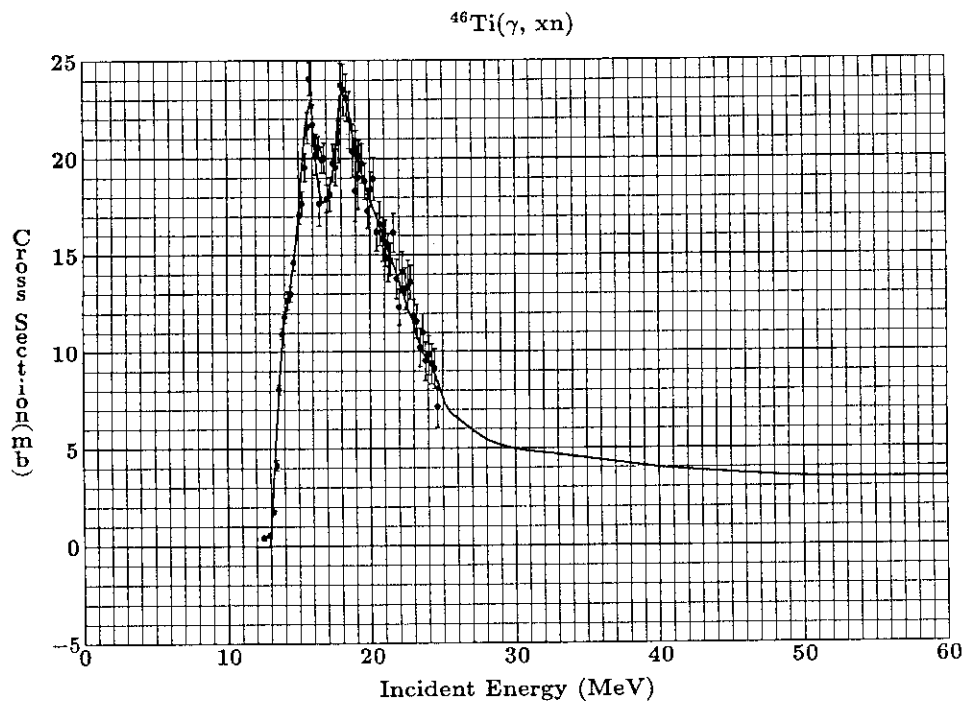


Fig. 7 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{46}\text{Ti}$ .

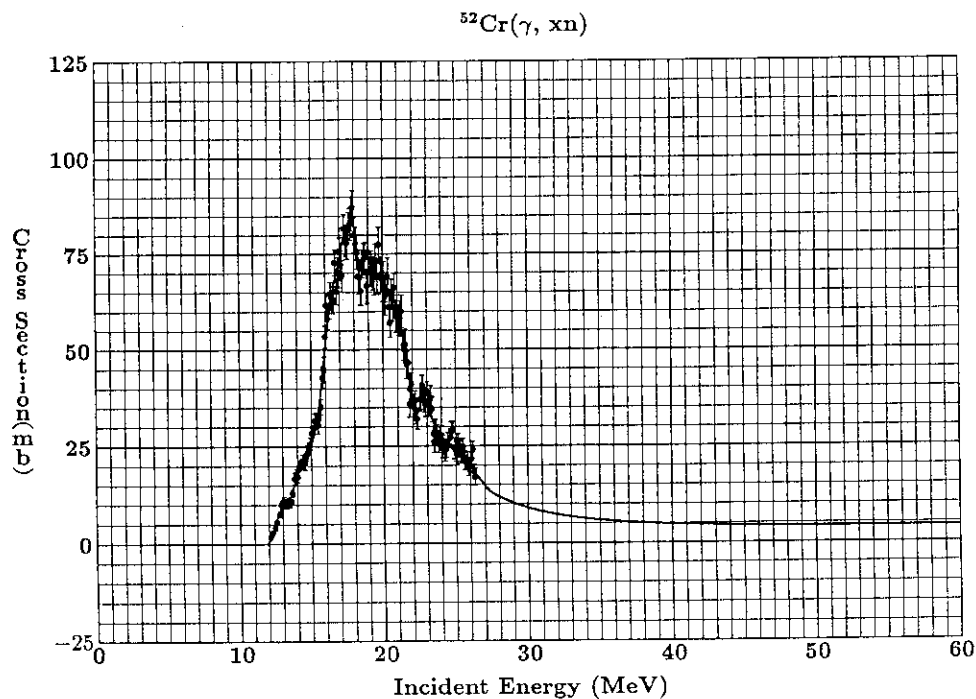


Fig. 8 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{52}\text{Cr}$ .

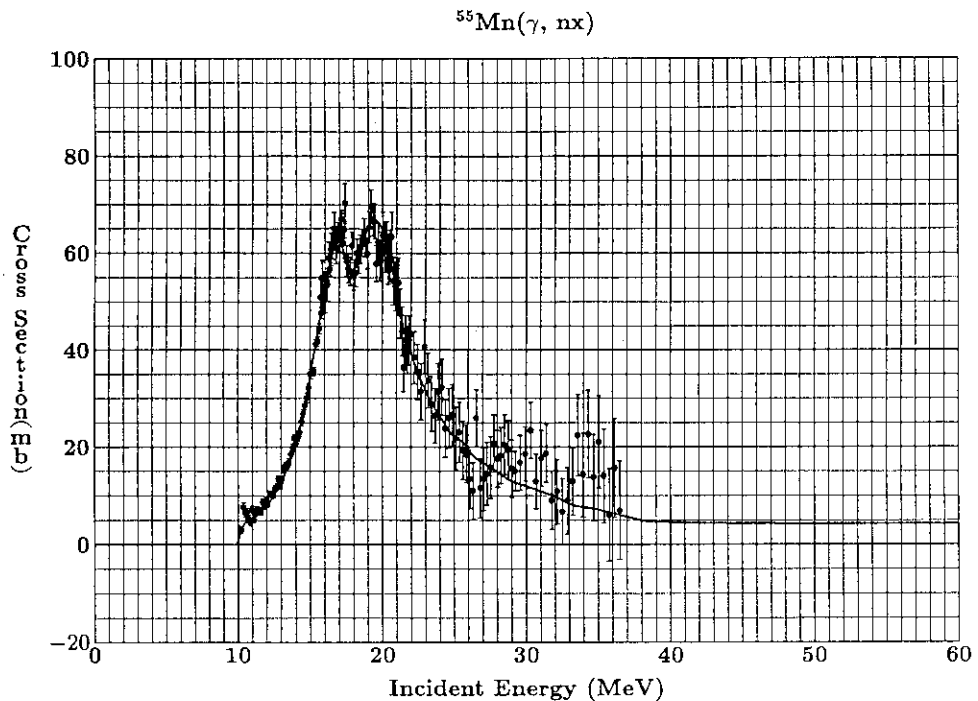


Fig. 9 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{55}\text{Mn}$ .

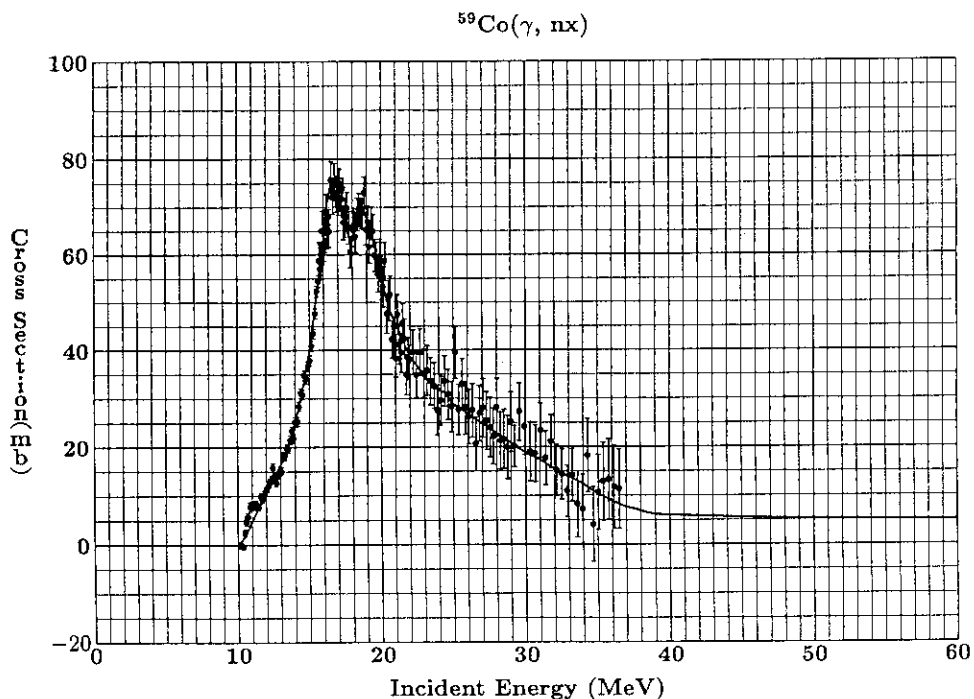


Fig. 10 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{59}\text{Co}$ .



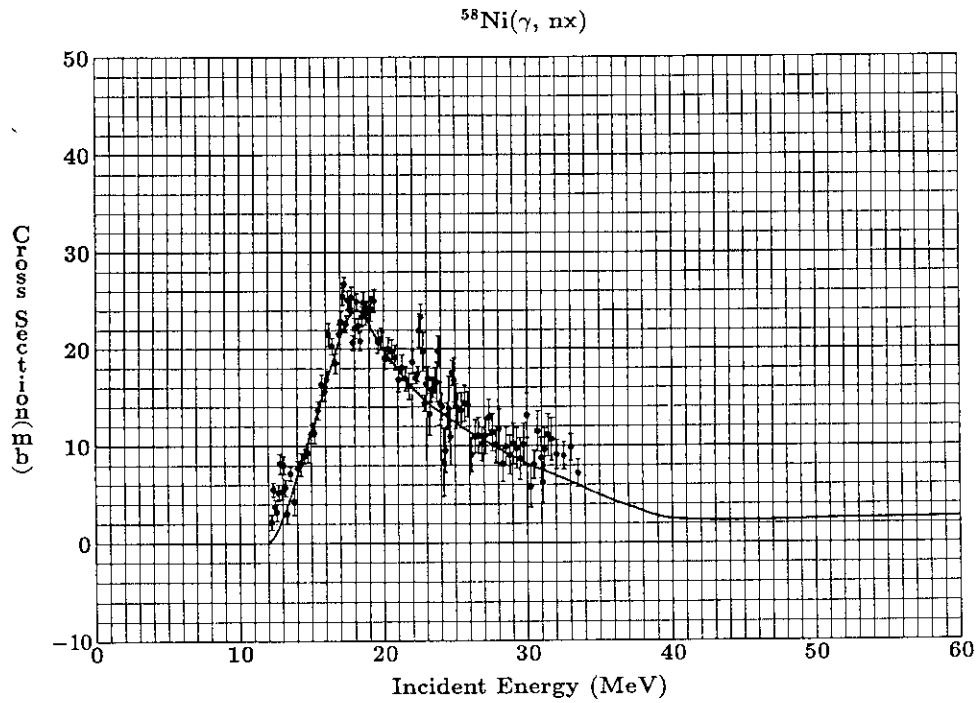


Fig. 11 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{58}\text{Ni}$ .

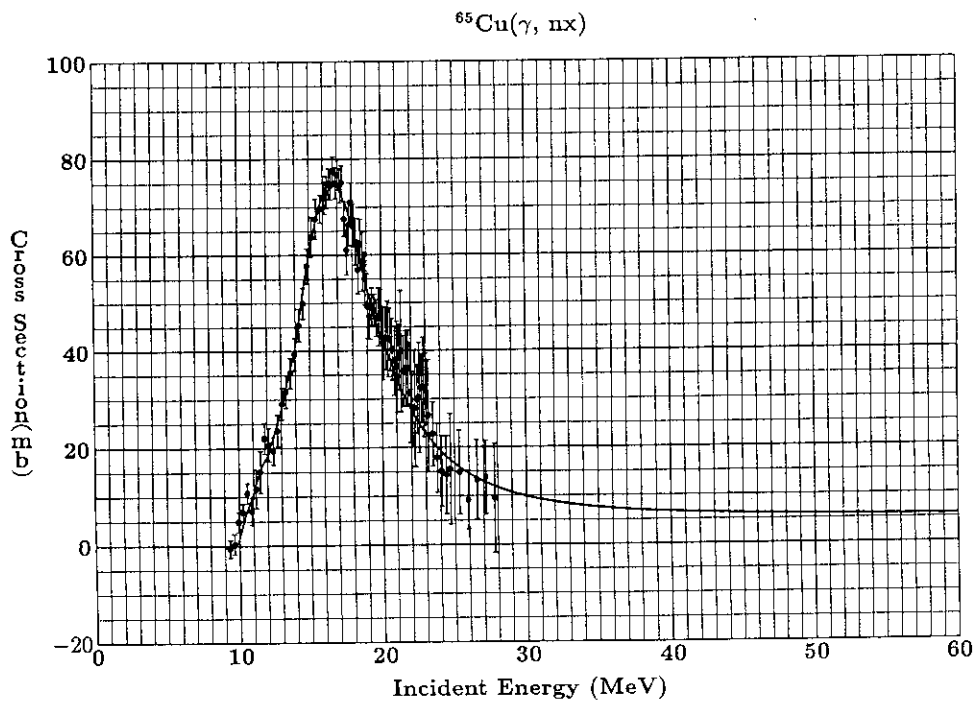


Fig. 12 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{65}\text{Cu}$ .

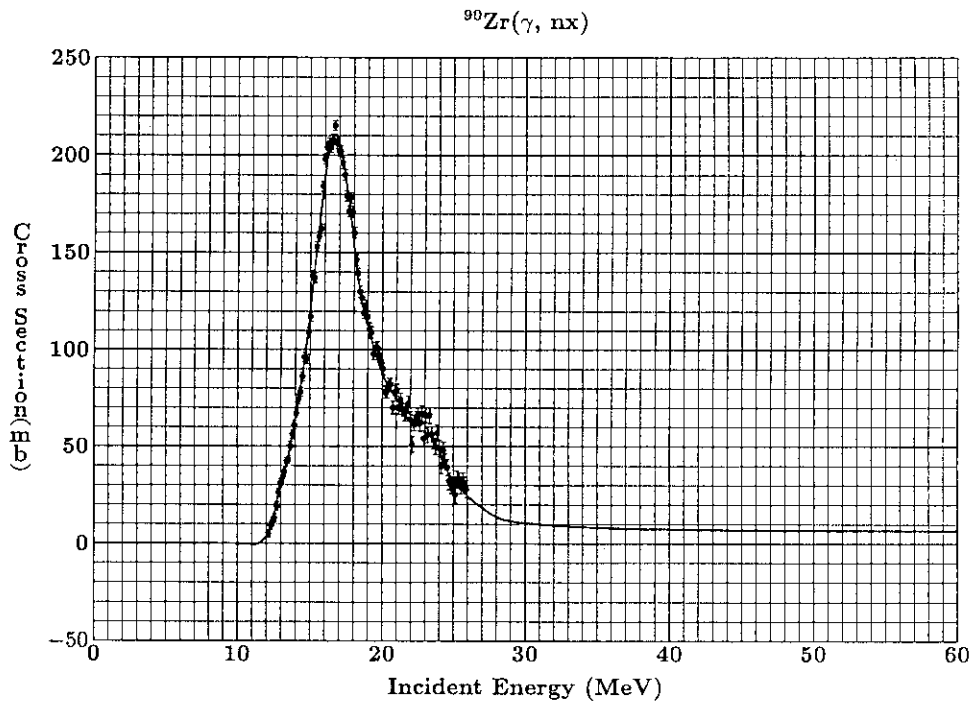


Fig. 13 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{90}\text{Zr}$ .

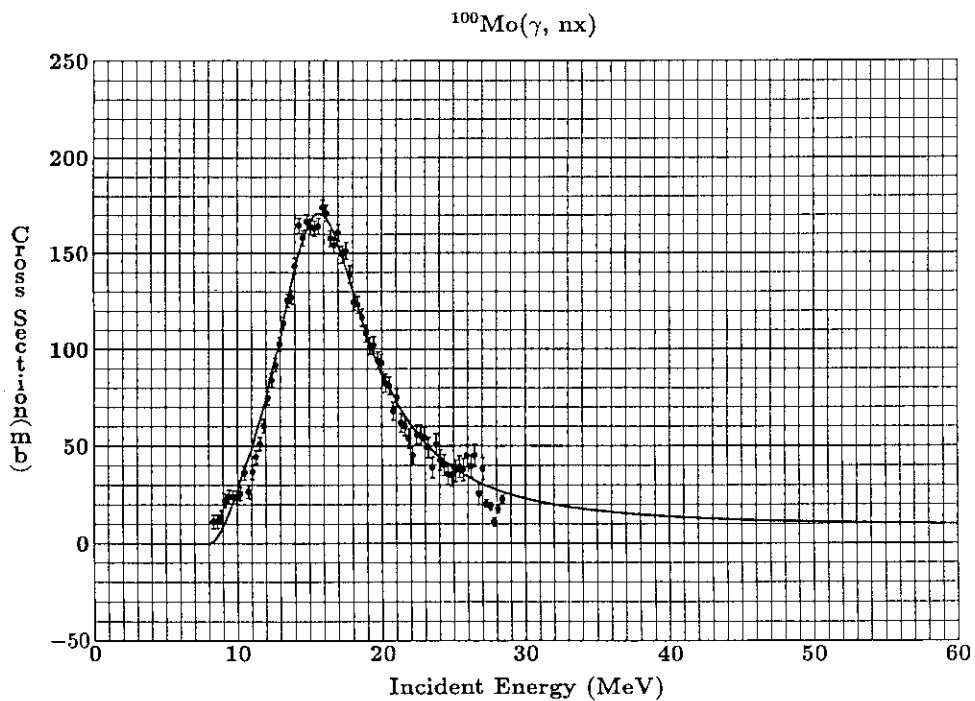


Fig. 14 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) photoneutron cross sections for  $^{100}\text{Mo}$ .

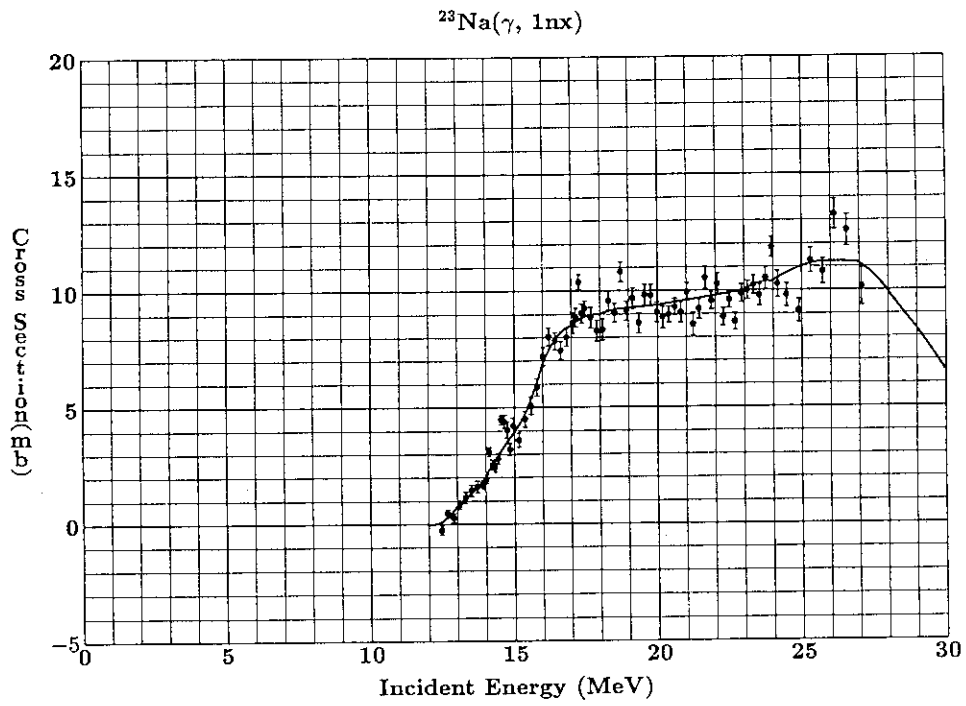


Fig. 15 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{23}\text{Na}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

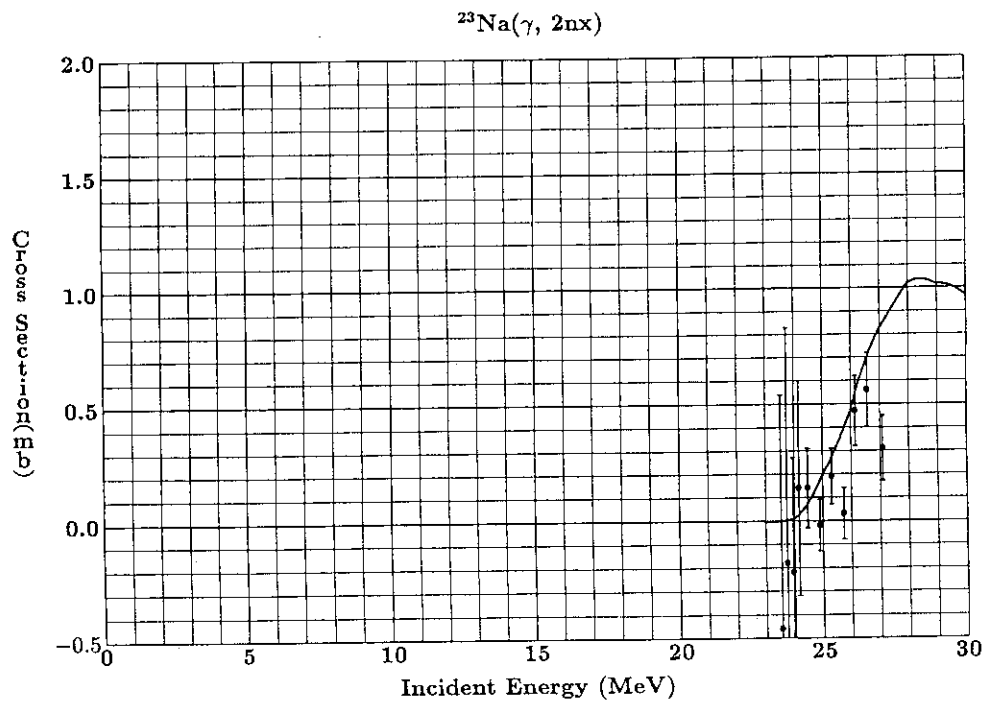


Fig. 16 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{23}\text{Na}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.

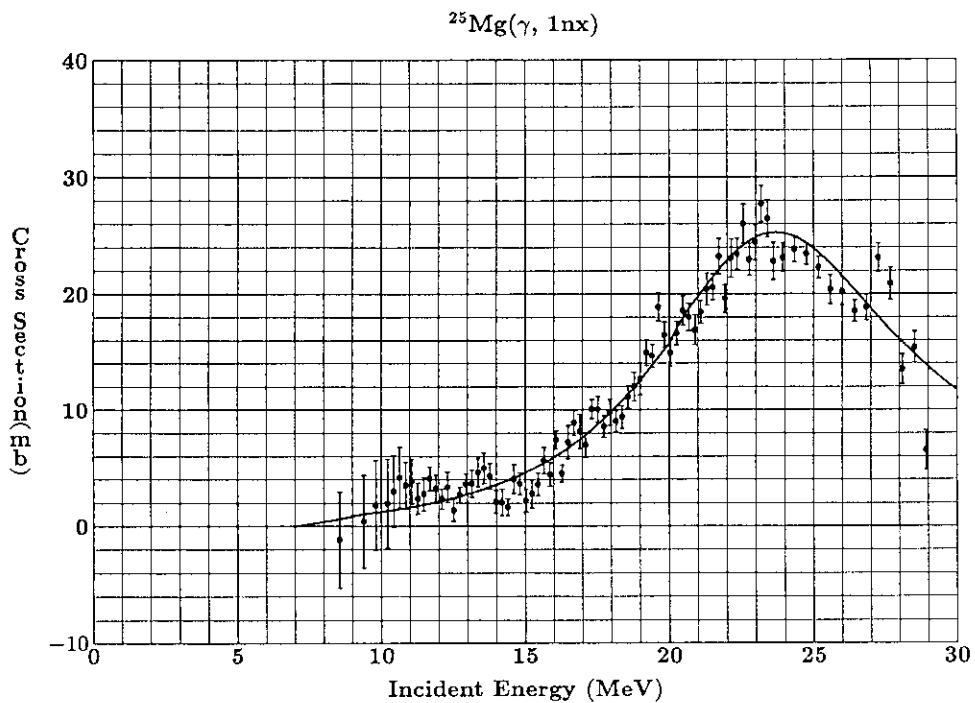


Fig. 17 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{25}\text{Mg}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

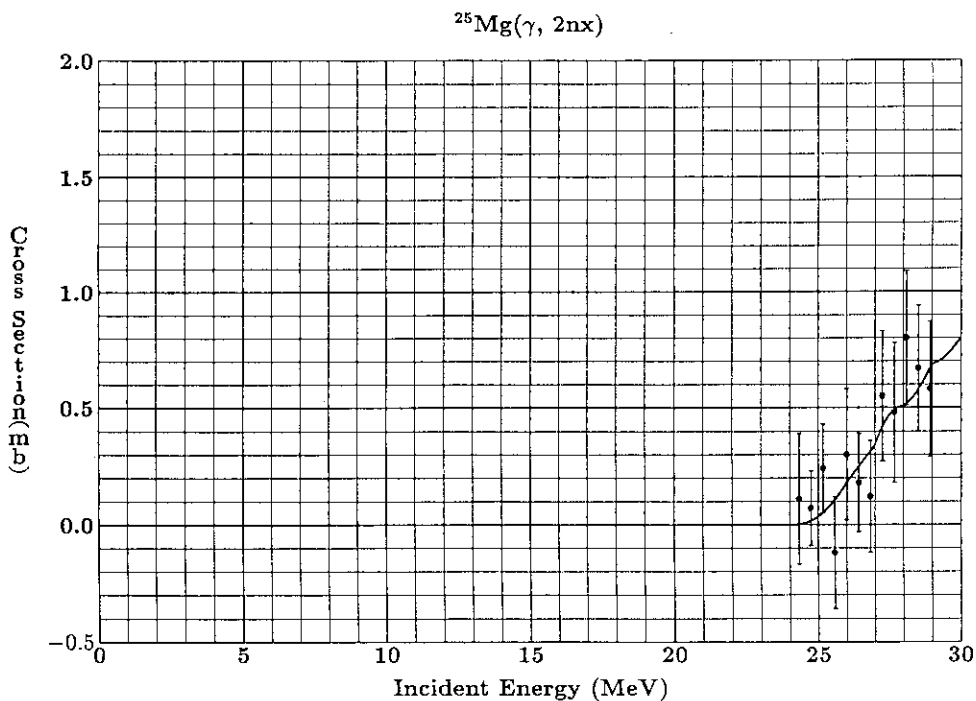


Fig. 18 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{25}\text{Mg}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.

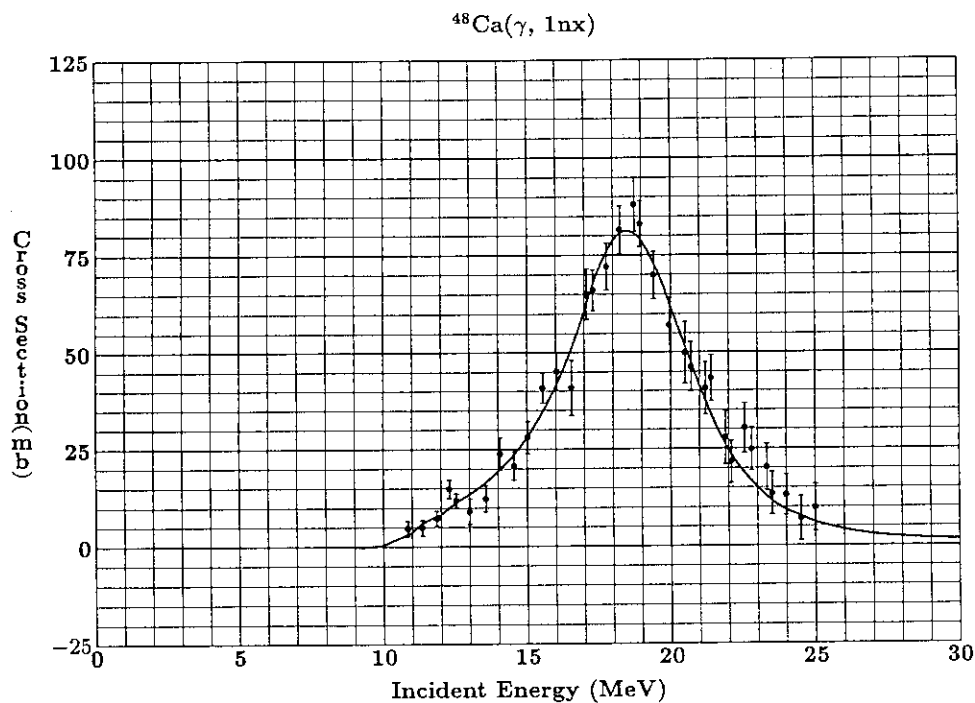


Fig. 19 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{48}\text{Ca}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

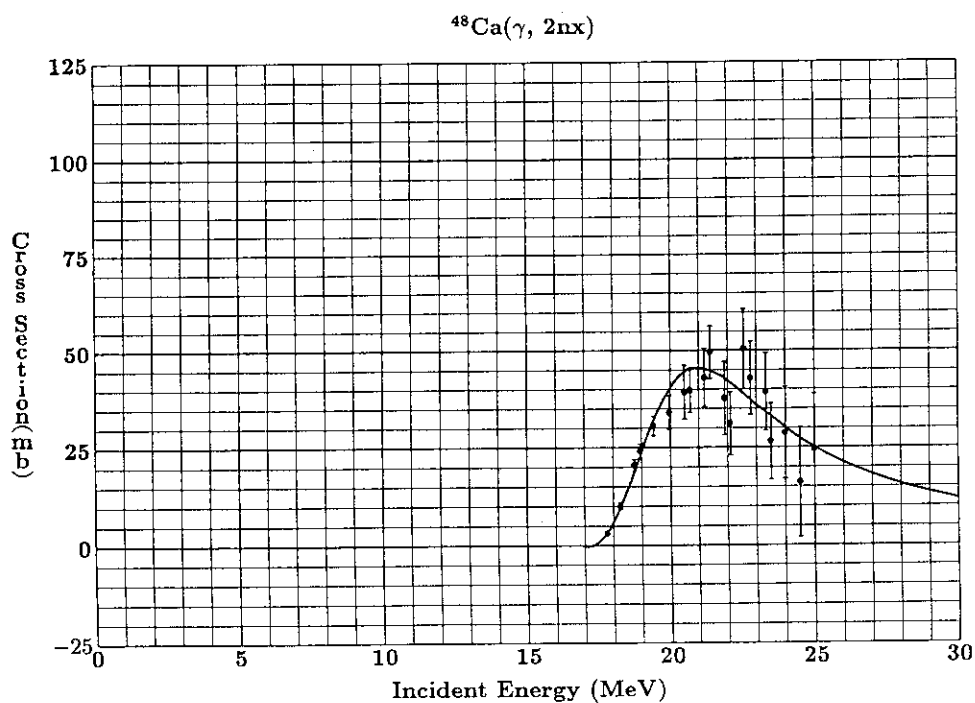


Fig. 20 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{48}\text{Ca}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.

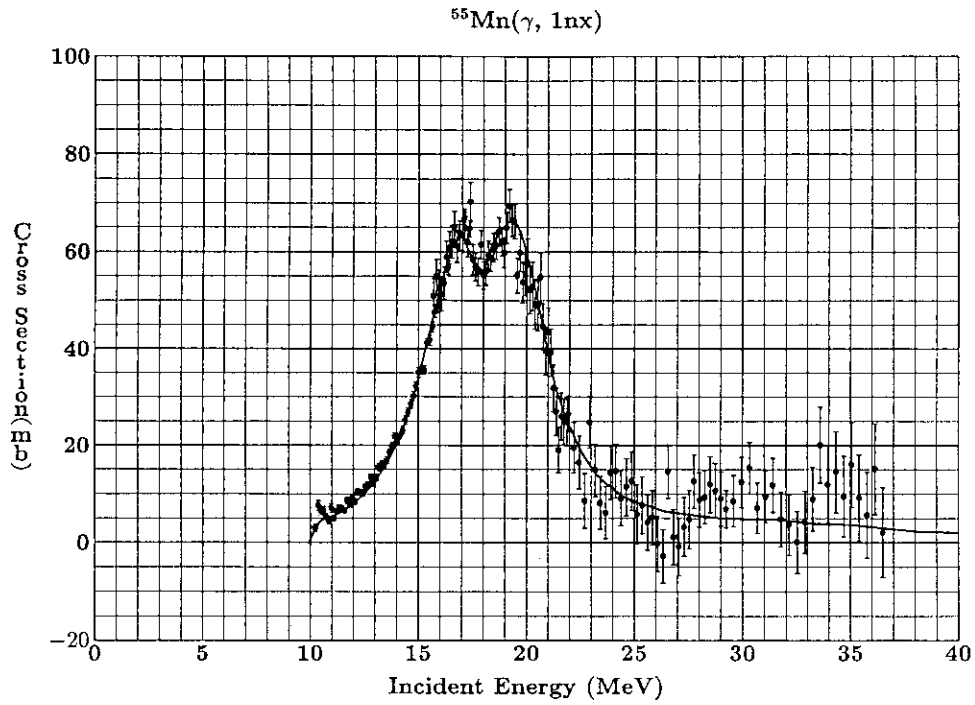


Fig. 21 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{55}\text{Mn}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

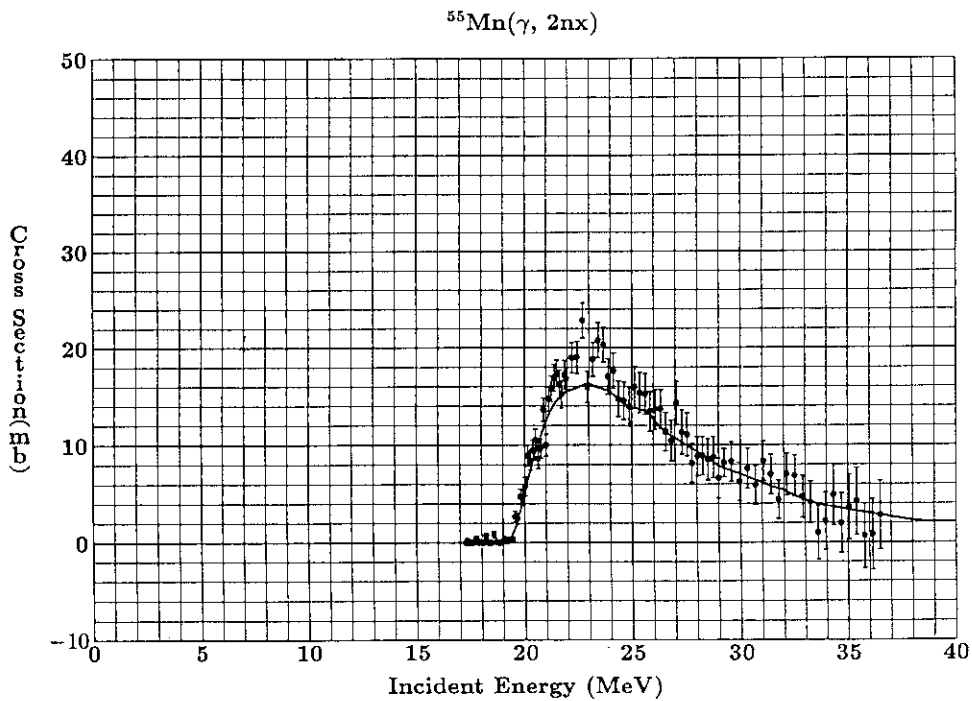


Fig. 22 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{55}\text{Mn}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.

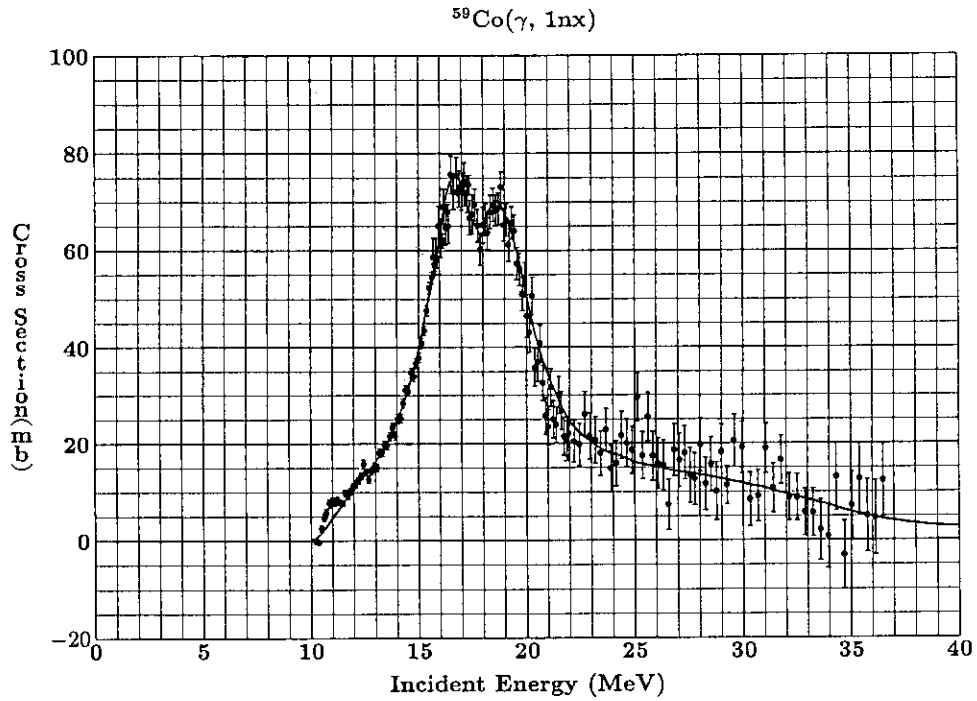


Fig. 23 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{59}\text{Co}(\gamma, 1nx)$  reaction.

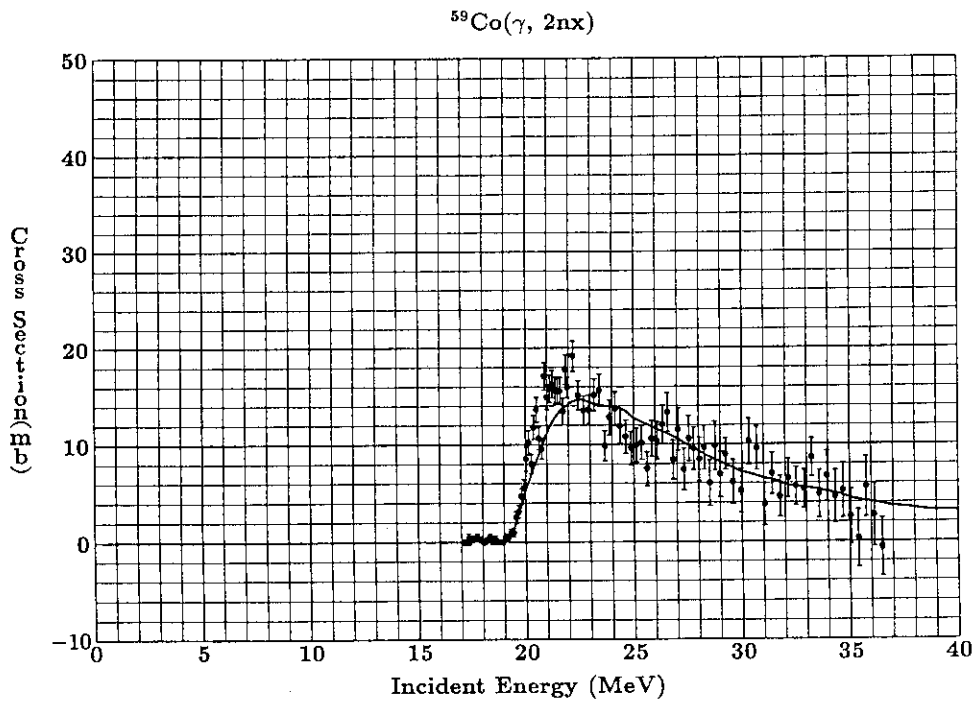


Fig. 24 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{59}\text{Co}(\gamma, 2nx)$  reaction.

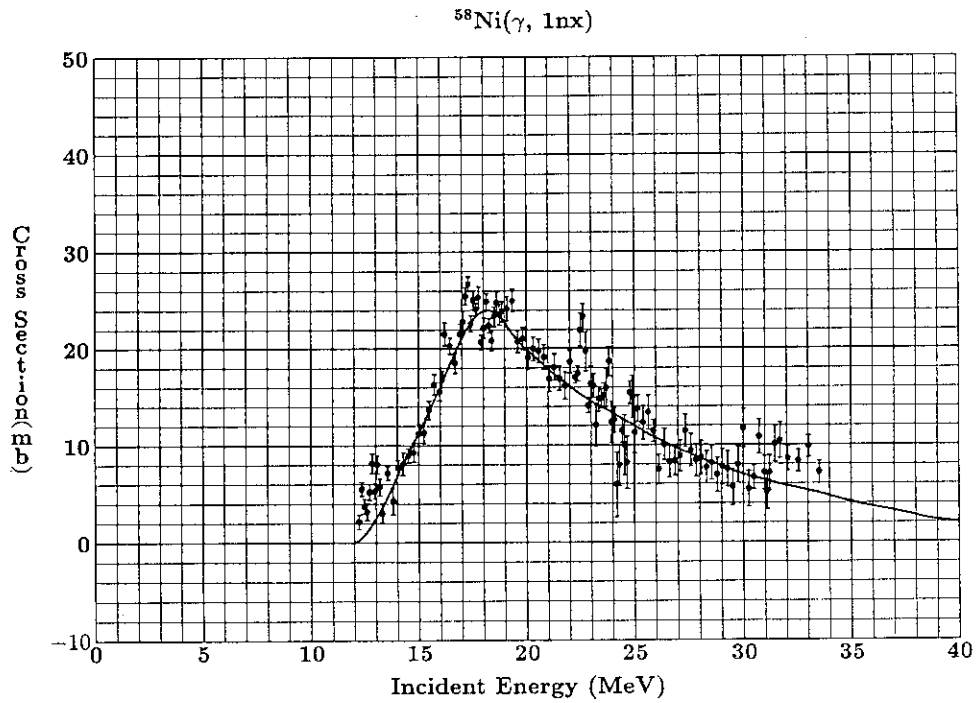


Fig. 25 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{58}\text{Ni}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

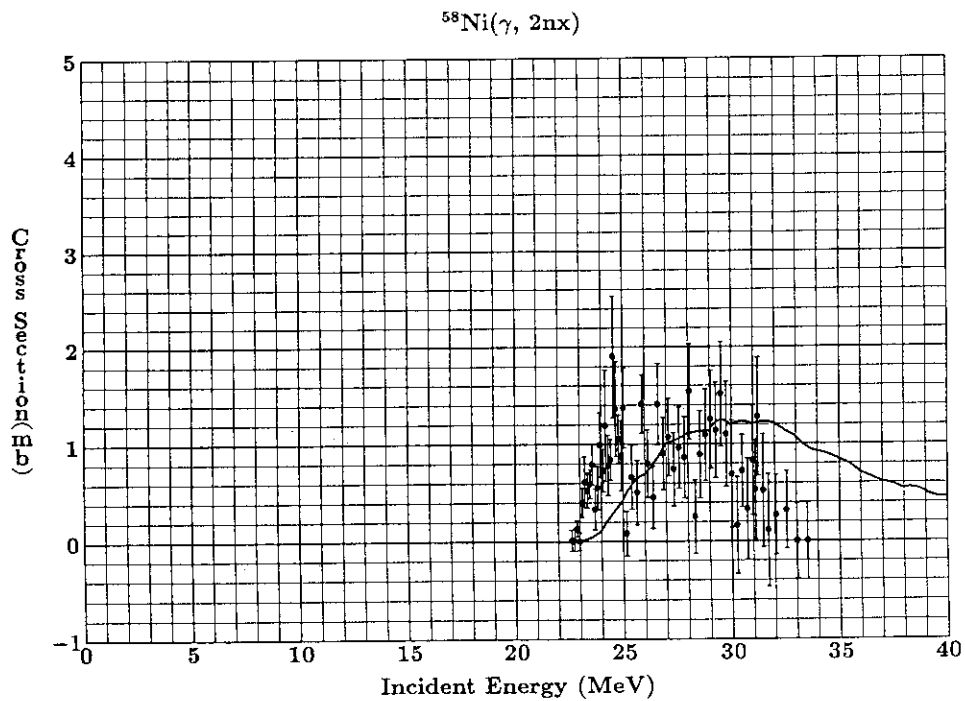


Fig. 26 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{58}\text{Ni}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.



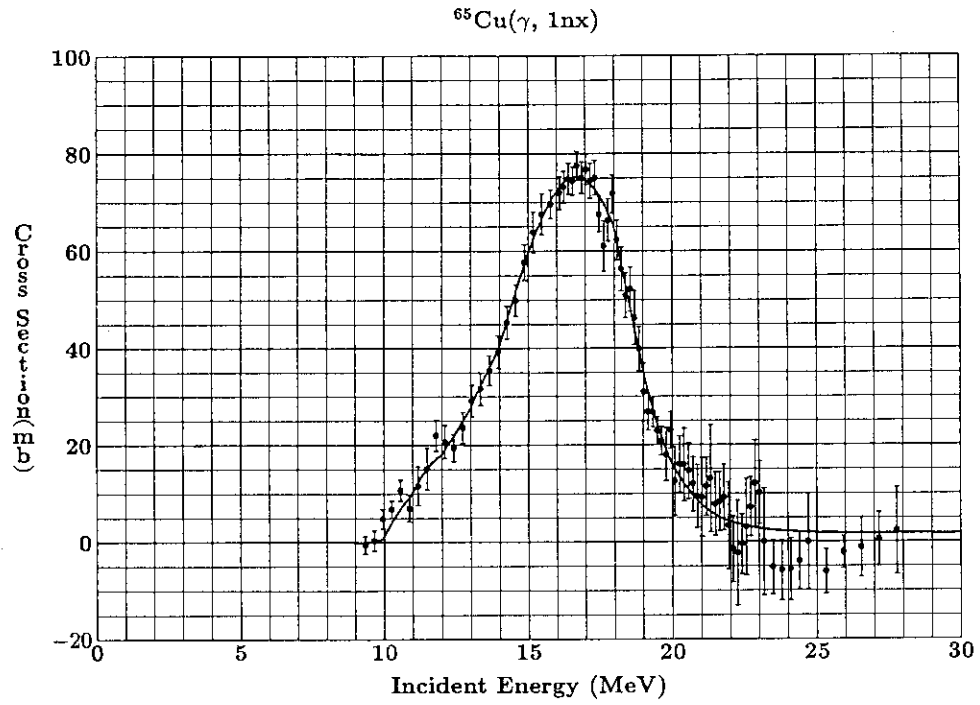


Fig. 27 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{65}\text{Cu}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

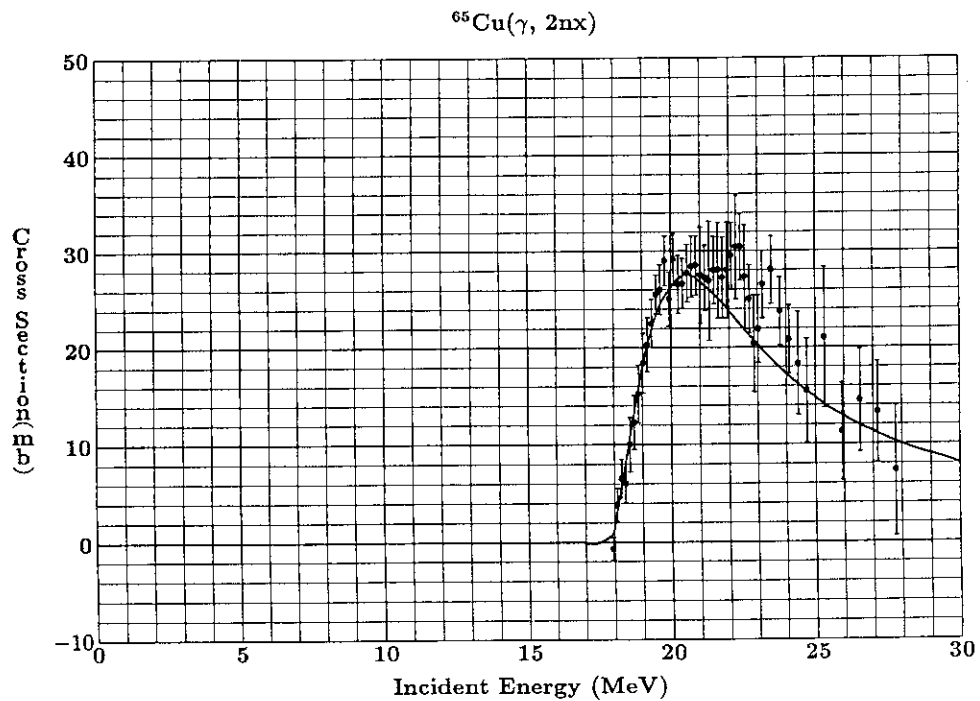


Fig. 28 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{65}\text{Cu}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.

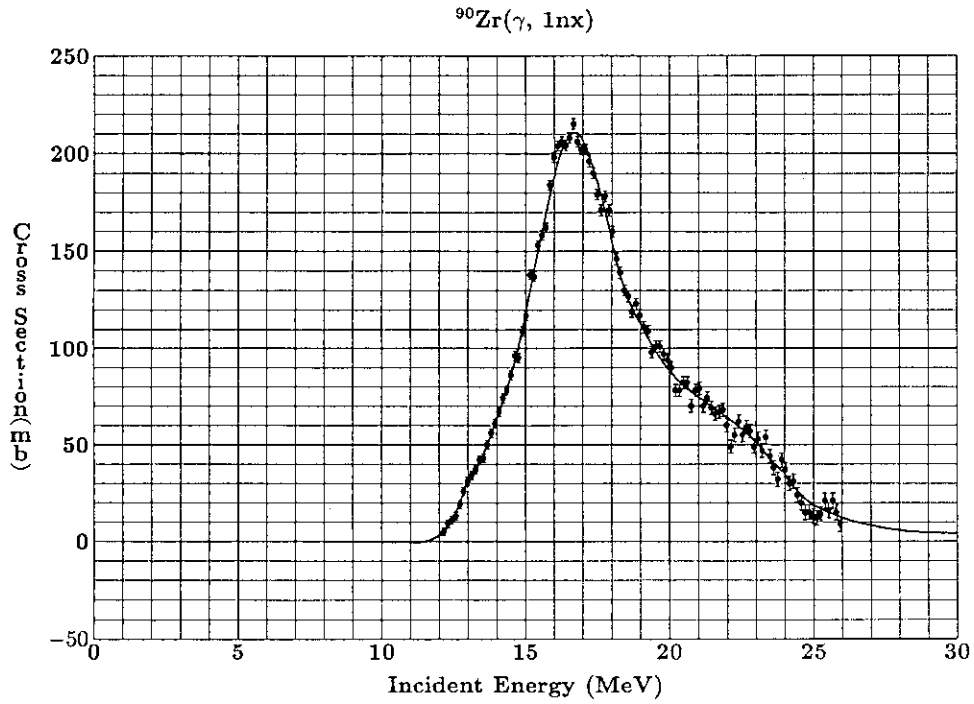


Fig. 29 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{90}\text{Zr}(\gamma, 1n\text{x})$  reaction.

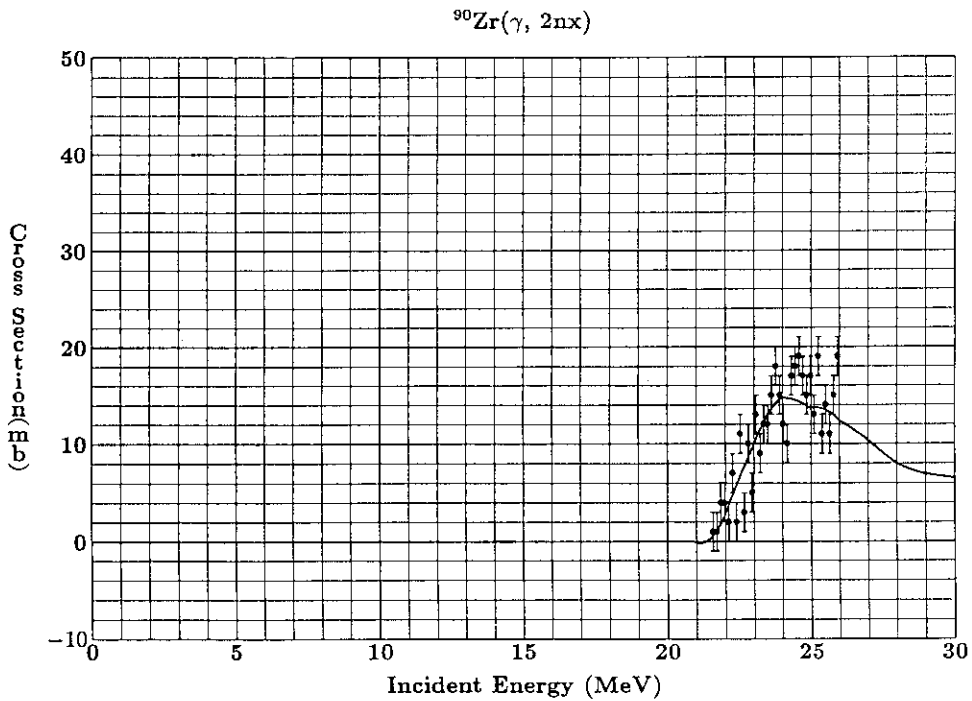


Fig. 30 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{90}\text{Zr}(\gamma, 2n\text{x})$  reaction.

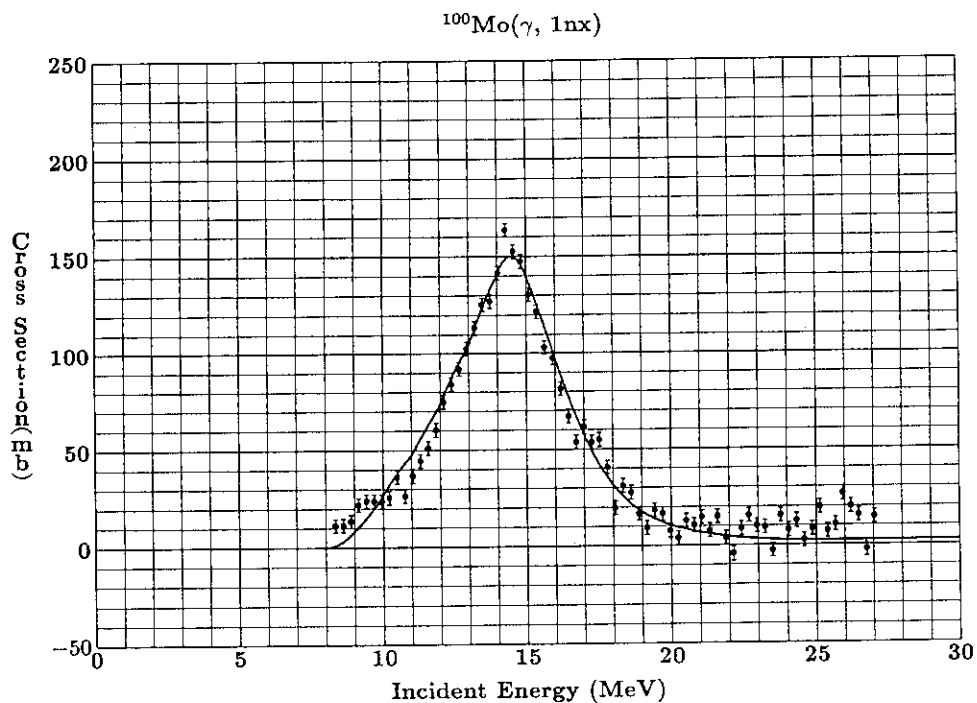


Fig. 31 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{100}\text{Mo}(\gamma, 1n)$  reaction.

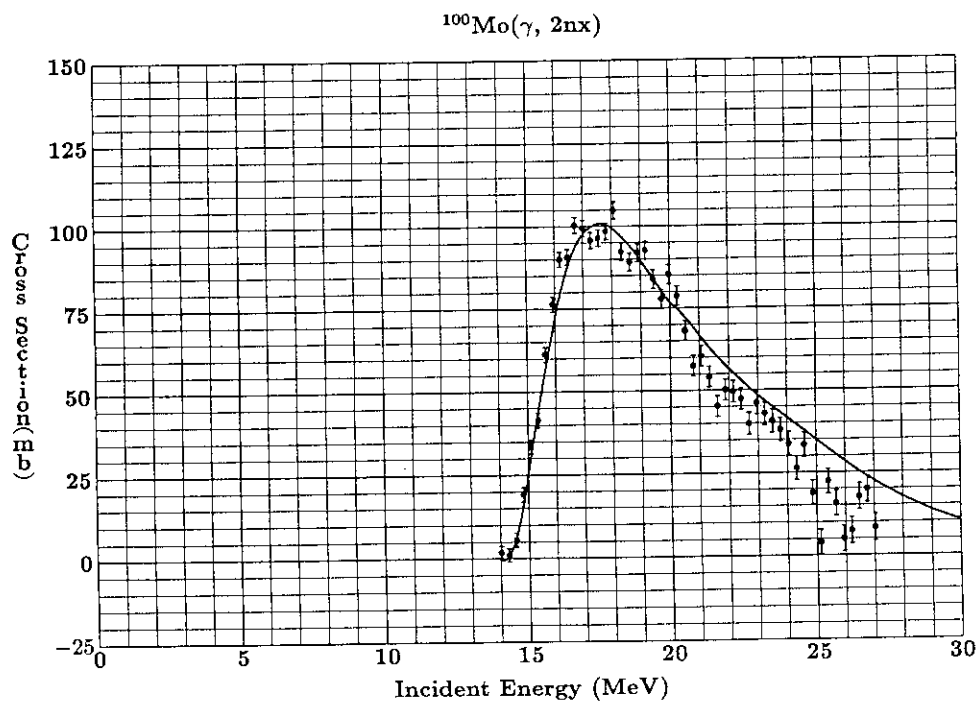


Fig. 32 Comparison between measured (solid circles with error bars) and evaluated (solid line) cross sections for the  $^{100}\text{Mo}(\gamma, 2n)$  reaction.

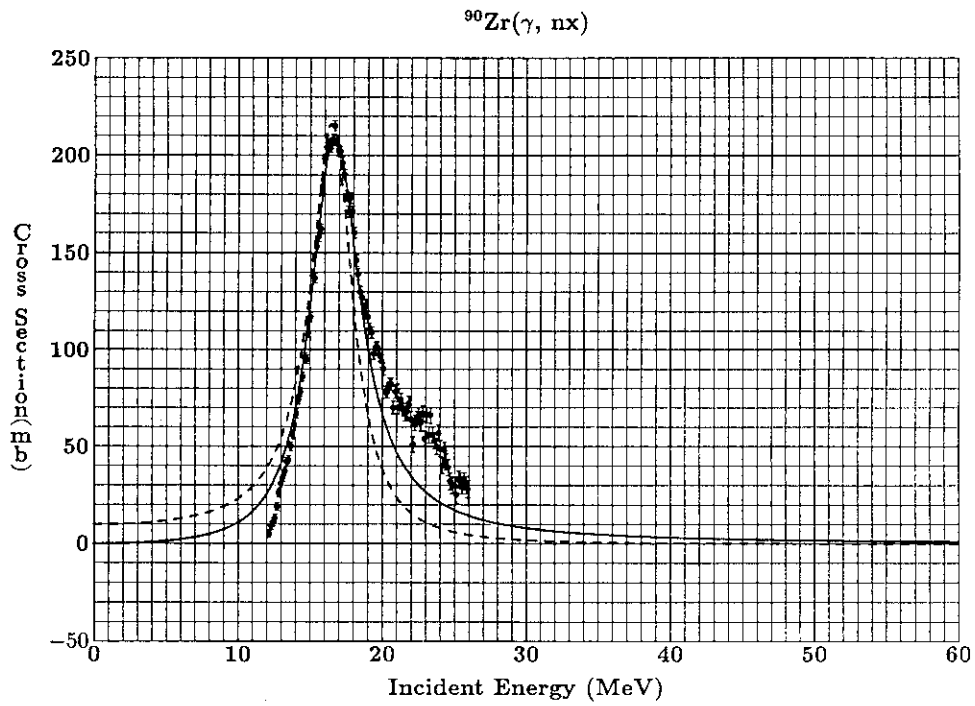


Fig. 33 Comparison between measured photoneutron cross sections (solid circles with error bars) and calculated photoabsorption cross sections for  $^{90}\text{Zr}$ . The solid and broken lines show calculated cross sections based on Eq. (5) and Eq. (6), respectively.