

J A E R I - M
91-006

放射化断面積データファイル作成(II)

1991年2月

山室 信弘^{*1}・飯島 俊吾^{*2}・浅見 哲夫^{*3}

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

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、
お申しこみください。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）で複写による実費領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, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-
ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1991

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 ニッセイエプロ株式会社

放射化断面積データファイルの作成(Ⅱ)

日本原子力研究所東海研究所物理部
*1 *2 *3
山室 信弘・飯島 俊吾・浅見 哲夫

(1991年1月10日受理)

1987年度より開始された放射化断面積データファイルの作成も、本年で第3年次となった。かねて選定されていた59元素の放射化生成核の半減期が1日以上のものについては一応終了することになる。

今年度評価された核種は、Zn, As, Sr, Y, Pd, Ba, Sm, Tb, Os, Irの10元素であるが、昨年度のHf, Re, Pb, Biについても改訂作業が進められた。中性子エネルギーは、JENDL-3ファイルなどと同様 10^{-5} eVから 20 MeVであり、計算・評価の結果はENDF-5 フォーマットのファイル10の形式でディスクに納められた。

本年度も、昨年同様簡易入力核断面積計算システム第Ⅱ版(SINCROS-II)で計算したもの、及びJENDL-3より断面積を採用し、GNASHによる計算を単に核異性体生成比の決定に用いることで求めたものの二つに区別できる。計算結果は、実験データと比較され評価結果が妥当であることが示された。

本報告書は、¹データ工学との平成元年度契約ならびにシグマ研究委員会で行われた成果をまとめたものである。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

*1 ¹データ工学

*2 ²東芝 原子力技術研究所

*3 ³原子力データセンター

Activation Cross Section Data File (II)

Nobuhiro YAMAMURO^{*1}, Shungo IIJIMA^{*2} and Tetsuo ASAMI^{*3}

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

(Received January 10, 1991)

This year is third annual for the preparation of the JENDL activation cross section data file. The file contains the production cross sections of radioactive nuclides with half-lives longer than 1 day for the important 59 elements.

In the current year, Zn, As, Sr, Y, Pd, Ba, Sm, Tb, Os, and Ir are newly evaluated and Hf, Re, Pb, and Bi are also reevaluated. Range of neutron energy is from 10^{-5} eV to 20 MeV.

Some cross section calculations have been carried out with the simplified input nuclear cross section calculation system, version II (SINCROS-II), and others were cited from the JENDL-3 file and only the isomeric ratios were calculated using the GNASH code if they were necessary. The calculated cross sections are shown to be reasonable by comparison with the experimental data. The evaluated results of activation cross section are stored in the computer disk in the format of ENDF-5 file 10.

Keywords: Activation, Cross Section, JENDL-3, Isomeric State, SINCROS-II, GNASH, ENDF-5

This work has been performed under the Research-in-Trust in 1989 fiscal year from Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) and the research in Japanese Nuclear Data Committee.

*1 Data Engineering, Inc.

*2 Nuclear Engineering Laboratory, Toshiba Corp.

*3 Nuclear Energy Data Center (NEDAC)

目 次

1. 序 文	1
2. 放射化断面積の計算・評価の方法	2
3. 結果の検討	3
3.1 Zn, Pd, Re, Os, Ir, Pb, Bi の断面積	3
3.2 As, Sr, Y, Ba, Sm, Tb, Hf の断面積	29
4. 計算に用いた J C L とファイル化	51
4.1 計算に用いた J C L と入力及び出力データの例	51
4.2 放射化断面積のファイル化	51
5. むすび	63
謝 辞	63
参考文献	64

Contents

1. Introduction	1
2. Methods of calculation and evaluation for activation cross sections	2
3. Examination of Results	3
3.1 Cross sections for Zn, Pd, Re, Os, Ir, Pb, and Bi	3
3.2 Cross sections for As, Sr, Y, Ba, Sm, Tb, and Hf	29
4. JCL for nuclear model calculations and production of file	51
4.1 An example of JCL, input and output data for calculations ..	51
4.2 Production of file for activation cross sections	51
5. Summary	63
Acknowledgments	63
References	64

1. 序 文

原子炉及び核融合炉における中性子照射に伴って生ずる、放射性核種の生成量の評価は安全性並びに核廃棄物処理などの問題において重要である。そのためアメリカ並びにヨーロッパにおいてもそれぞれ独自の放射化断面積ファイルの編集が行われている。我が国においても JENDL の一環としての放射化断面積データファイルの整備が進められているが、当初の目標としている半減期 1 日以上の放射能を発生する放射化断面積の計算と評価は、今年度において一応完了の予定である。

1989年度において評価した元素は、Zn, As, Sr, Y, Pd, Ba, Sm, Tb, Os, Ir の10元素である。これに加え昨年度の Hf, Re, Pb, Bi についても改訂作業が実施された。対象とした入射中性子エネルギーは、JENDL-3 などと同様 10^{-5} eV から 20MeV までである。

上記の核種にはかなりの核異性体が含まれる。そのため約半数の元素に対しては、簡易入力核断面積計算システムの新しい第Ⅱ版 (SINCROS-II)¹⁾ が用いられ、基底状態並びに核異性体生成断面積が直接計算され、実験と比較された。また、残りの半数の元素の場合は、JENDL-3²⁾ より直接断面積を引用し、核異性体のある場合にはGNASHコード³⁾で核異性体生成比を算出して、これより核異性体生成断面積を出している。

放射化断面積の計算結果は、すべて ENDF-5 のファイル10 の形式でデータがまとめられている。

以下第2章では放射化断面積の計算と評価の方法、第3章では実験データと比較しながら、結果の検討を行う。また、第4章で計算に用いた JCL とデータのファイル化の方法を挙げ、第5章に本作業に関するむすびを述べる。

2. 放射化断面積の計算・評価の方法

本年度も昨年度に引き続いて放射化断面積ファイルの作成が進められた。計算・評価の方法は昨年と大きな変更がない。すなわち、JENDL-3²⁾に含まれない元素はもちろんのこと、重要な核異性体生成があるため JENDL-3 ファイルでは不十分な核種については、簡易入力核断面積計算システム第Ⅱ版 (S INCROS-II) が用いられた。このシステムは、特に放射化断面積の計算に便利なものになるよう開発されてきたが、今年度も若干の改良が行われ、特に計算結果からENDF/B形式のファイル10を作成する過程に工夫が加えられた。S INCROS-IIについては詳細なマニュアルが発行されたので、それを参照して欲しい¹⁾。

JENDL-3 ファイルに反応断面積がある場合、これを採用し核異性体生成断面積は、GNASH コード³⁾による生成比の計算を利用して求めることもできる。本年度もこの方法で評価したものもある。

第3章で計算結果の検討を述べるが、3.1節ではS INCROS-IIが、3.2節ではJENDL-3が用いられている。上述したファイル作成のためのデータ処理の流れやその方法については第4章で述べる。

過去3年間の経験により放射化断面積の計算評価の方法は、ファイル化の手段まで含めてかなり確立したと考えられる。今後はファイルの内容をより一層検討し、その質を高めることが課題と思われる。

3. 結果の検討

断面積の計算は本年も、簡易入力核断面積計算システム第II版（SINCROS-II）¹⁾によって行われたものと、JENDL-3²⁾に含まれる反応の全断面積と、GNASHコード³⁾による核異性体生成比の計算を組合せて行ったものとに分類できる。そこで本章でも3.1節で、SINCROS-IIでの計算とその結果の検討を行い、続いて3.2節以降で、JENDL-3から引用した場合の結果を検討する。

3.1 Zn, Pd, Re, Os, Ir, Pb, Bi の断面積

ここで述べる7元素の場合、熱中性子及び共鳴領域の(n, γ)反応を除き、すべてEGNA SH 2コード¹⁾によって放射化断面積を計算し、さらに本年度新たに開発されたデータ処理システムに従って、ENDF/B-V形式のファイル10を作成している。これを実験と比べる際は、ファイル10から変換したデータをWINGコード⁴⁾で作図して行っている。これらの新しいデータ処理システムは4.2で詳しく述べられる。 (n, γ) 反応の低エネルギー断面積は、JENDL-3があればそこから採り、ない場合には新たに共鳴パラメータを入力し、これを標準的な方法で数値化し、さらに70群定数でファイル10に収めた。以下元素ごとに計算結果と実験データとの比較・検討について主要な点を述べる。なお、SINCROSによる計算では生成後の半減期にかかわらずすべての放射化断面積が与えられる。また、いわゆる核変換の断面積（生成核が安定同位体）も含まれている。本節で述べられる元素の核異性体の励起エネルギー、半減期及びスピンの値が、同じ核種の基底状態の半減期及びスピンの値と共にTable 3.1にまとめられている。

3.1.1 Zn の断面積

Znには質量数64, 66, 67, 68及び70の5つの安定同位体がある。これらすべての安定同位体を標的とする中性子反応で生ずる放射化断面積が計算された。核異性体生成反応のある場合は、基底状態の生成と区別して示される。

(n, γ) 反応では低エネルギー断面積を得るために、BNL-325などから共鳴パラメータを取り、これを処理して70群断面積を用意した。 ^{67}Zn を除き100keV以上ではEGNASH2による計算値を用い、その点で両者の断面積をつないでいる。 ^{67}Zn は9keVでつないだ。Fig. 3.1は10²eVから20MeVまでの ^{66}Zn (n, γ)反応を、Fig. 3.2は1keVから20MeVまでの ^{68}Zn (n, γ)反応の断面積を与える。Fig. 3.1で熱中性子及び共鳴領域断面積の値が実験値と良く一致していることがわかる。100keV以上では計算値が低い。これは共鳴データのつながりを意識し過ぎたため修正は簡単である。Fig. 3.2の場合も100keV以上でDovbenkoの実験データ⁵⁾より低い計算結果がえられている。この場合、基底状態と核異性体生成が別々に与えられていて、同じような結果を示しているから、計算での規格化断面積を少し高めに再設定すれば、実験データによる一致を得られよう。但し、核異性体生成断面積の場合1MeV以上では実験データがかなり高い。

(n, p) 反応では、 ^{64}Zn , ^{66}Zn 及び ^{67}Zn について Fig. 3.3 から Fig. 3.5 に実験値と比較してある。 ^{64}Zn (n, p) の場合、そのしきい値から 20MeVまで、計算値と Santry ら⁶⁾の実験値との間の一致は極めて良好である。ただ Smith ら⁷⁾のデータが 5~10MeVでかなり低い値を与えることは Fig. 3.3 に示すとおりである。一方、Fig. 3.4 のように ^{66}Zn (n, p) では Smith の値⁸⁾に一致している。13MeV以上での Borman ら⁹⁾の実験値ともますます的一致を示している。 ^{67}Zn の場合は Ikeda ら¹⁰⁾のデータとの一致の様子を狭いエネルギー領域で Fig. 3.5 に示した。

^{68}Zn (n, α) ^{65}Ni の生成断面積の実験データとの比較が Fig. 3.6 に示される。14MeV以上の Herman ら¹¹⁾の結果が少し小さい測定値を与えていた他は、全体的な一致がえられている。

(n, 2n) 反応では ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{70}Zn を標的とする場合を挙げる。 ^{64}Zn (n, 2n) ^{63}Zn 反応の場合、16MeV以上で Paulsen¹²⁾ 及び Bormann ら¹³⁾のデータより低い計算結果を示すが、Koehler¹⁴⁾ 及び Rayburn ら¹⁵⁾のデータには合っていることを Fig. 3.7 で示してある。 ^{66}Zn (n, 2n) ^{65}Zn 反応の場合も実験データが一致していないのはっきりしない。しかし Fig. 3.8 で見る通り、新しい Ikeda ら¹⁰⁾のデータとの比較から、やや高めの計算結果を与えていたりと思われる。Fig. 3.9 は ^{70}Zn の場合で、基底状態と核異性体生成が区別され、さらにそれらの和である全断面積が示される。15MeV以上を除き実験データと良く一致していると思われる。

Fig. 3.10 は ^{68}Zn (n, np+d) 反応による ^{67}Cu の生成断面積で、Ikeda ら¹⁰⁾の実験データと一致している。

3.1.2 Pd の断面積

Pd には質量数 102, 104, 105, 106, 108, 110 の 6 安定同位体がある。まず (n, r) 反応の全断面積はすべて JENDL-3 より採用し、0.32eVから 20MeVまでを 70 群構造で定数化しファイル 10 に収めた。核異性体生成のある場合は EGNASH2 で計算される比を乗じて基底状態と核異性体を分離してある。Fig. 3.11 は ^{108}Pd (n, r) 反応の全断面積を示す。Fig. 3.12 から Fig. 3.14 までは、それぞれ ^{102}Pd (n, 2n), ^{101}Pd , ^{108}Pd (n, 2n), ^{107}Pd , ^{110}Pd (n, 2n), ^{109}Pd の場合の実験値と計算値を比較したものである。 ^{107}Pd の基底状態は、 6.5×10^6 年という超長半減期をもつので実験データがないが、同じ核の短半減期をもつ核異性体の生成断面積が 14MeV 付近にある。核異性体に対する計算値が良く実験と一致していることが Fig. 3.13 に示されている。 ^{110}Pd (n, 2n) 反応に関しては、計算値が実験に比べ少し低いようである。核異性体生成断面積では、実験とエネルギー依存性も違うことが Fig. 3.14 に示される。

3.1.3 Re の断面積

Re は質量数 185 と 187 の二つの安定同位体がある。

Re を標的とする中性子反応で作られる超長半減期の核異性体生成が含まれるところから、放射化断面積の評価の点で重要な核種の一つに選ばれている。それは ^{185}Re (n, r) 反応及び ^{187}Re (n, 2n) 反応で作られる ^{186}Re の核異性体が半減期 2×10^5 年を持つので、その生成量の正しい計算が望まれるからである。

まず、 ^{185}Re (n, r) 反応の計算と実験の比較を Fig. 3.15 に示す。全捕獲断面積の計算結果は Lindner ら¹⁶⁾のデータに良く合い、Stupegia ら¹⁷⁾及び Bergman ら¹⁸⁾のデータよりは低い。

図中に長半減期の核異性体生成断面積が示されるが、1 keV 以上数 MeV までほとんど一定で 2~4 mb 位であることがわかる。Re の (n, γ) 反応の計算値の精度を確かめるため最も新しい Macklin による Re の捕獲断面積の実験値¹⁹⁾と今回の計算結果を比較したのが Fig. 3.16 である。計算は 2 つの同位体の計算値にそれぞれの存在比を乗じて加えたものであるが、図で見る通り 1 MeV 付近でやや低い値を示すものの、3 keV 以上の広いエネルギー領域で良く一致しており、計算結果が十分信頼できるものであることを示している。なおこの計算は EGNASH2 で定めたパラメータを用いて、CASTHY2Y (CASTHY2 相当) コードで行ったものである。

次に Fig. 3.17 及び Fig. 3.18 で ^{185}Re ($n, 2n$) ^{184}Re 及び ^{187}Re ($n, 2n$) ^{186}Re 反応の結果を示す。 ^{185}Re ($n, 2n$) 反応もかなりの長半減期の基底状態及び核異性体を生成する。それらの計算結果が示されているが、比較すべき実験データがない。これに対し ^{187}Re ($n, 2n$) 反応には、半減期 91 時間の基底状態の生成に関し 1 MeV 付近に実験データがある。Fig. 3.18 には最近の Vonach ら²⁰⁾のデータを含め 4 つの実験値を示した。これらの値はすべて Vonach によって再規格化されたものである。

Vonach は 1989 年 9 月の ANL で開催された IAEA の超長半減期放射化断面積に関する会議の際、核異性体生成断面積を次のように導いている。まず、質量数 150 以上の原子核の 14 MeV 付近での全 ($n, 2n$) 反応断面積を多くの実験データから導かれる経験式

$$\sigma(n, 2n) (\text{mb}) = 152 \times A^{1/2}$$

で算出する。ここで A は質量数。これで ^{187}Re の場合、2079 mb が与えられる。これより 14.6 MeV における基底状態の生成断面積の測定値 1488 ± 105 mb を差し引いて、核異性体生成断面積として 591 ± 122 mb を算出している。今回の計算値と比較すると全 ($n, 2n$) 反応断面積は良く合っており、基底状態生成断面積の計算値が少し低いところから、核異性体生成断面積は 700 mb である。これは Vonach の値の上限値とほぼ一致する。計算における基底状態と核異性体との分岐比の再検討を要すると思われるが、ほぼ満足すべき計算結果と思われる。

3.1.4 Os の断面積

質量数 186, 187, 188, 189, 190 及び 192 の 6 同位体について計算が行われたが、184 (存在比 0.02 %) については省略されている。また、共鳴パラメータも現在 188, 189, 190, 192 の 4 同位体のみ用意してある。しきい反応の実験データも 14 MeV 付近を除くと、ほとんどない。わずかに ^{192}Os ($n, 2n$) 反応で計算との比較が可能である。

Fig. 3.19 はその ^{192}Os ($n, 2n$) ^{191}Os 生成断面積を示す。図から全 ($n, 2n$) 断面積が若干実験値より低い結果になっているが、エネルギー依存性は良く表していることがわかる。しかし、核異性体生成断面積について Augustynik ら²¹⁾の値よかなり低いので、 ^{191}Os の γ 線崩壊モードの検討を要するかも知れない。

Fig. 3.20 から Fig. 3.23 は、 ^{188}Os , ^{189}Os , ^{190}Os 及び ^{192}Os の中性子捕獲断面積を示す。 ^{189}Os と ^{192}Os の場合、共鳴パラメータがそれぞれ 100 eV までしかないため、100 eV と 1 keV の間の計算値が存在しない。ENDF / B 形式では内挿法の指定で途中の断面積を与えるから、 ^{192}Os の場合は多分良いが、 ^{189}Os では 100 eV と 1 keV の間の (n, γ) 断面積が低くなってしまう。

その点改良を要する。Browne ら²²⁾の実験データと比較して、(n, γ) 反応の計算値がやや低くなっているように思われ、規格化断面積の調整が必要である。また、1 MeV付近でのHerman ら²³⁾のデータとの一致は悪い。これは反応幅変動補正に関連すると考えられる。

3.1.5 Ir の断面積

Ir には質量数 191 と 193 の 2 つの安定同位体がある。Ir の場合にも¹⁹²Ir の第 2 核異性体の半減期が、241 年と長いことが Table 3.1 を見れば判明する。Ir の実験データが原研の NESTOR に収納されていないため実験データとの比較ができなかったが、上記の長半減期放射化準位の生成断面積の計算値を示そう。

Fig. 3.24 には¹⁹¹Ir (n, γ) ¹⁹²Ir 反応を示す。この場合も、熱中性子領域から 300 eV までは共鳴パラメータを処理して捕獲断面積を求め、これを 70 群定数の形にして示してある。そして第 1 核異性体及び第 2 核異性体生成の割合はすべて EGNASH2 による計算で求めてある。但し、100 eV 以下は一定値を用いている。200 eV 以上は EGNASH2 の計算値をそのまま示してある。但し、100 keV での全捕獲断面積は実験データを参照して 760 mb に規格化してある。図から長半減期の第 2 核異性体準位の生成は比較的低いことがわかる。これは第 2 核異性体準位のスピンの値が 9+ と高いためと思われる。但し、500 keV 以上になると高いスピン状態ができ易くなるので上昇を示す。

このことは¹⁹³Ir (n, 2n) ¹⁹²Ir 反応の計算結果を示す Fig. 3.25 を見れば一層はっきりする。高いエネルギーの領域で召ずる (n, 2n) 反応の場合は高いスピンの第 2 核異性体状態の方が、低いスピンの第 1 核異性体状態に比べ、かなり高い生成断面積をもつ。計算値に凹凸が見られるがその原因は今のところはっきりしていない。滑らかに結んで良いと考えている。

3.1.6 Pb の断面積

Pb の中性子反応で作られる放射化断面積にもいくつかの重要なものが含まれる。Pb には質量数 204, 206, 207 及び 208 の 4 つの安定同位体があるが、閉核の原子核でその準位構造も付近の重い原子核と異なっていることから断面積の計算が比較的困難とされている。ここでは Pb に対しても、SINCROS を用いどのような結果を得ることができるか計算が試みられた。ただ (n, γ) 反応については数 MeV の領域まで共鳴構造を示すので、共鳴パラメータを評価してある JENDL-3 をそのまま採用した。Fig. 3.26 は²⁰⁸Pb (n, γ) ²⁰⁹Pb 反応の断面積を 70 群定数の形で示したものである。

次に (n, 2n) 反応の計算値と実験データとの比較を述べる。Fig. 3.27 から Fig. 3.30 は、²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, 及び ²⁰⁸Pb を標的とする (n, 2n) 反応での放射化断面積を示した。²⁰⁴Pb (n, 2n) ²⁰³Pb の場合、全 (n, 2n) 断面積の計算結果は Vaughn ら²⁴⁾, Deowski ら²⁵⁾のデータより少し高い。しかし、新しい Ikeda ら²⁶⁾の測定値がもっと高くでている。核異性体生成断面積の場合は計算値が Bormann ら²⁷⁾の値に比べて低くなっている。

²⁰⁶Pb (n, 2n) ²⁰⁵Pb, ²⁰⁷Pb (n, 2n) ²⁰⁶Pb, ²⁰⁸Pb (n, 2n) ²⁰⁷Pb 反応では、いずれも Frehaut²⁸⁾の実験値がしきい値から 14 MeV まである。計算と比較すると、²⁰⁷Pb の 12 MeV 以上を除くと一致はかなり良いと言える。²⁰⁶Pb (n, 2n) 反応の生成放射化核 ²⁰⁵Pb は $1.5 \times$

10^7 年という超長半減期を持つ。この生成断面積の良い計算結果が得られている。

^{208}Pb (n , $2n$) ^{207}Pb 反応では、0.8秒という短半減期の核異性体が生成される。Shunk ら²⁹⁾ の実験は相当に難しいものであったと思われるが、計算で得られている結果とかなりの一致が見られる。

^{208}Pb (n , p) ^{208}Tl 反応の結果が Fig. 3.31 に与えられている。実験結果との一致は良好である。

3.1.7 Bi の断面積

Bi には長半減期をもつ放射化同位体を生成する放射化断面積の評価の上で重要な反応がある。それは ^{209}Bi (n , r) ^{210}Bi と ^{209}Bi (n , $2n$) ^{208}Bi 反応である。

^{209}Bi (n , r) ^{210}Bi ができる ^{210}Bi は、 3.0×10^6 年という超長半減期の核異性体を生成する。Fig. 3.32 に示すように Bi も Pb と同様、かなり高いエネルギーまで共鳴があってひとまず JE NDL-3 を採用した。しかし、Fig. 3.33 に示すように 10 keV ~ 100 keV の範囲で Macklin³⁰⁾ の実験データに比べると低い値になっている。一方、EGNASH2 で 100 keV での (n , r) 反応の値を 4 mb に規格化して計算した結果は、比格的良く Macklin のデータと一致している上、14 MeV での実験値とも合う。そこで 7 keV の点で両者をつなぎ、それ以上のエネルギーでは EGNASH 2 での計算値を採用することにした。

Fig. 3.33 には超長半減期の核異性体生成断面積も示されている。

Fig. 3.34 は ^{209}Bi (n , $2n$) ^{208}Bi 反応の断面積を示す。 ^{208}Bi もまた 3.68×10^5 年という超長半減期を有する放射化核種である。(n , $2n$) 反応の計算結果は、Frehaut²⁸⁾ 及び Veeser ら³¹⁾ の実験に良く一致している。図には (n , $3n$) 反応の断面積も記入されており、これまた Veeser の実験値に一致している。

Table 3.1 Table of Isomeric States (1/4)

Nuclide	Level No.	Isomer State			ITratio (%)	Ground State	
		E _x (MeV)	T _{1/2}	J		T _{1/2}	J
Z=45							
¹⁰¹ Rh	2	0.1573	4.34d	9/2 ⁺	7.7	3.3y	1/2 ⁻
¹⁰² Rh	2	0.070	207d	1 ⁻	5	(2.9y)	6 ⁺
¹⁰³ Rh	2	0.0398	56.12m	7/2 ⁺	100	sta.	1/2 ⁻
¹⁰⁴ Rh	4	0.1290	4.34m	5 ⁺	99.87	42.3s	1 ⁺
¹⁰⁵ Rh	2	0.1298	45s	1/2 ⁻	100	35.36h	7/2 ⁺
¹⁰⁶ Rh	2	0.137	130m	6 ⁺	0	29.80s	1 ⁺
¹⁰⁸ Rh	2	(0.007)	16.8s	1 ⁺	0	6.0m	(3 ⁺)
¹¹⁰ Rh	2	(0.010)	28.5s	(4 ⁺)	0	3.2s	1 ⁺
Z=46							
¹⁰⁷ Pd	3	0.2149	21.3s	11/2 ⁻	100	6.5E06y	5/2 ⁺
¹⁰⁹ Pd	3	0.1890	4.69m	11/2 ⁻	100	13.7h	5/2 ⁺
Z=47							
¹⁰⁵ Ag	2	0.0255	7.23m	7/2 ⁺	96.66	41.29d	1/2 ⁻
¹⁰⁶ Ag	2	0.0897	8.46d	6 ⁺	0	23.96m	1 ⁺
¹⁰⁷ Ag	2	0.0931	44.3s	7/2 ⁺	100	sta.	1/2 ⁻
¹⁰⁸ Ag	3	0.1095	127y	6 ⁺	8.7	2.37m	1 ⁺
¹⁰⁹ Ag	2	0.0880	39.6s	7/2 ⁺	100	sta.	1/2 ⁻
¹¹⁰ Ag	3	0.1176	249.76d	6 ⁺	1.36	24.6s	1 ⁺
¹¹¹ Ag	2	0.0598	64.8s	7/2 ⁺	100	7.45d	1/2 ⁻
¹¹⁵ Ag	2	(0.10)	18.0s	(7/2 ⁺)	(?)	20.0m	1/2 ⁻
¹¹⁶ Ag	2	0.081	10.4s	(?)	2	2.68m	(?)

Table 3.1 Table of Isomeric States (2/4)

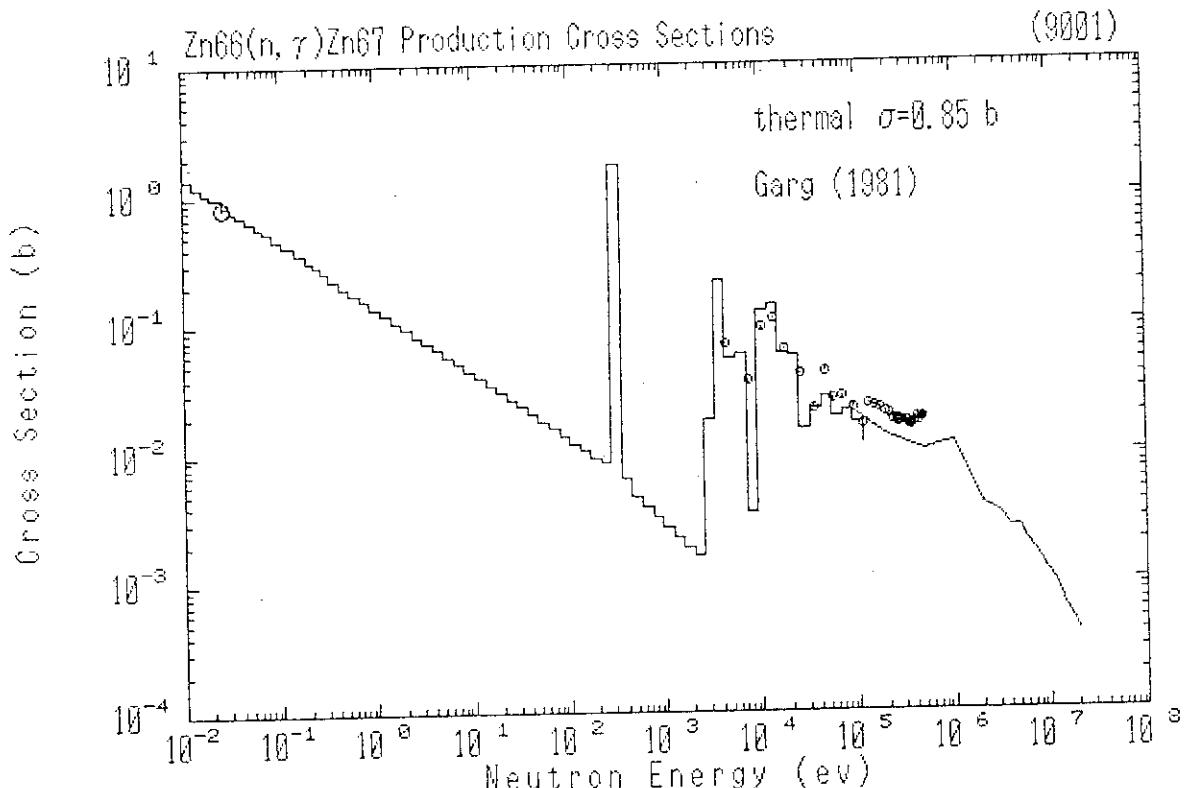
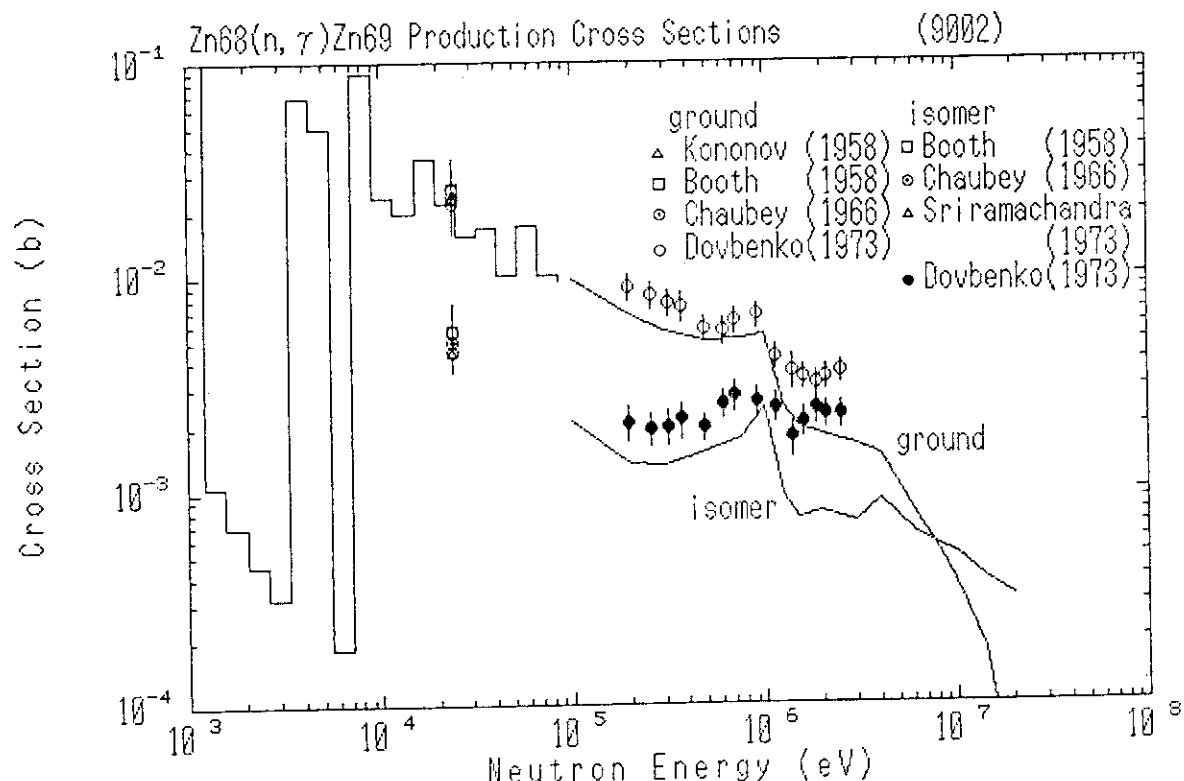
Nuclide	Level No.	Isomeric State				Ground State	
		E_x (MeV)	$T_{1/2}$	J	I Tratio (%)	$T_{1/2}$	J
Z=71							
^{176}Lu	2	0.1265	3.68h	7^-	0	3.6×10^{10}	7^-
^{177}Lu	(?)	0.9702	160d	$23/2^-$	(?)	6.71d	$7/2^+$
^{178}Lu	3	0.22	23.1m	9^-	0	28.4m	1^+
Z=72							
^{177}Hf	(?)	(?)	51.4m	$37/2^-$	(?)	sta.	$7/2^-$
^{178}Hf	6	1.1474	4.0s	8^-	100	sta.	0^+
	(?)	2.4460	31y	16^+	100		
^{179}Hf	6	0.3750	18.67s	$1/2^-$	100	sta.	$9/2^+$
	(?)	1.1056	25.1d	$25/2^-$	100		
^{180}Hf	7	1.1416	5.5h	8^-	98.6	sta.	0^+
^{182}Hf	(8)	1.1729	61.5m	8^-	42	9×10^6 y	0^+
Z=73							
^{180}Ta	3	0.0753	1.2×10^{15} y	9^-	0	8.152h	1^+
^{182}Ta	(?)	0.5196	15.84m	10^-	100	114.43d	3^-
Z=74							
^{179}W	3	0.2219	6.4m	$1/2^-$	99.72	37.5m	$7/2^-$
^{183}W	8	0.3095	5.2s	$11/2^+$	100	sta.	$1/2^-$
^{185}W	7	0.1974	1.67m	$11/2^+$	100	75.1d	$3/2^-$
Z=75							
^{182}Re	2	(?)	12.7h	2^+	0	64.0h	7^+
^{184}Re	7	0.1880	165d	8^+	25.3	38d	3^-
^{186}Re	5	0.1490	2×10^4 5y	8^+	100	90.64h	1^-
^{188}Re	8	0.1721	18.6m	6^-	100	16.98h	1^-

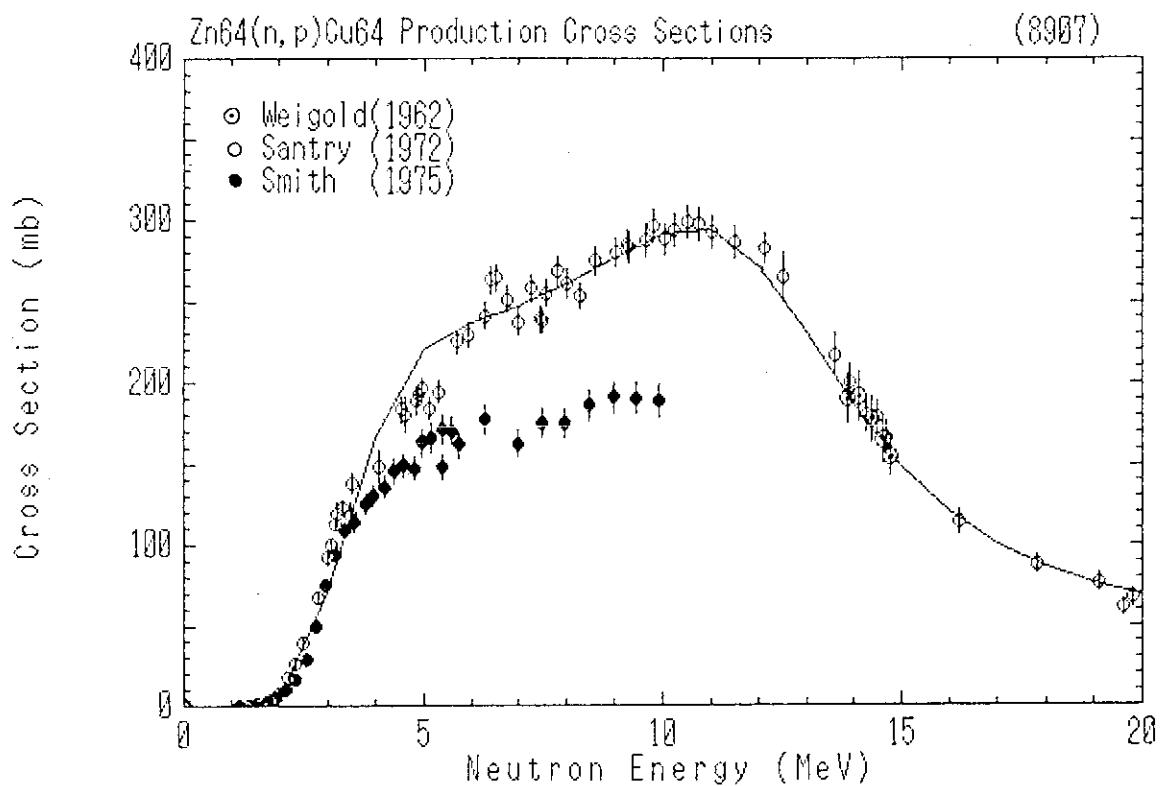
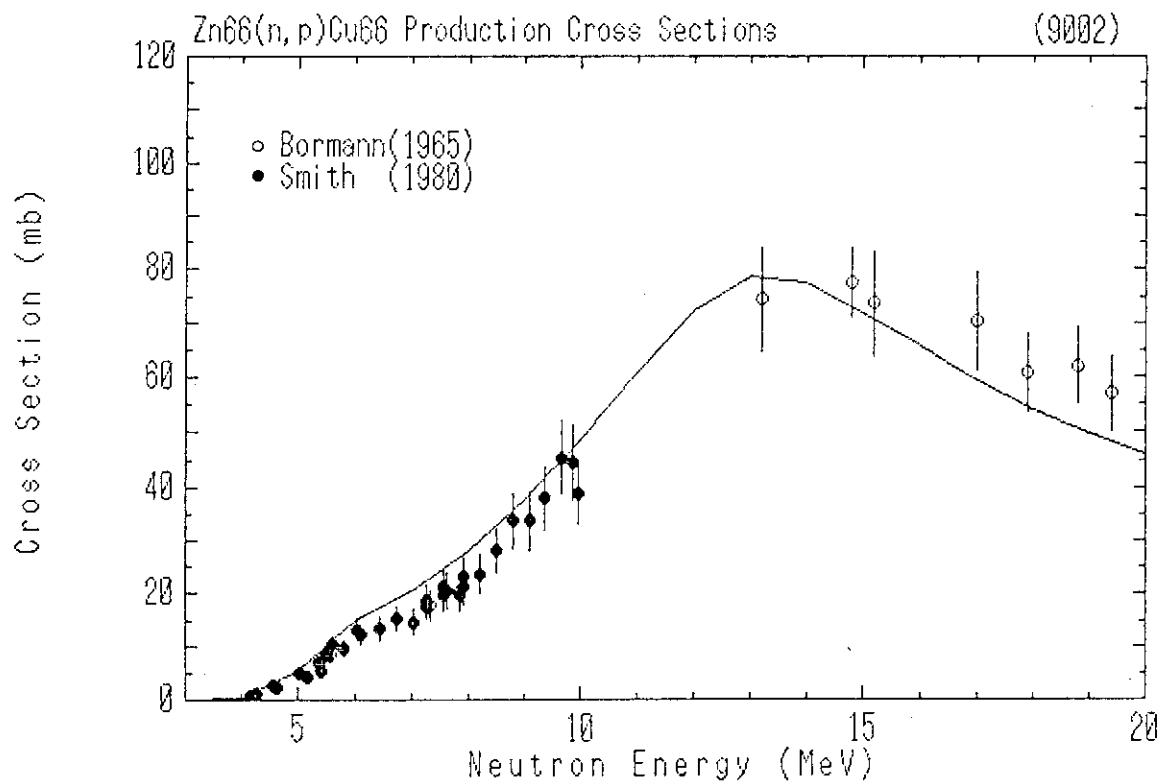
Table 3.1 Table of Isomeric States (3/4)

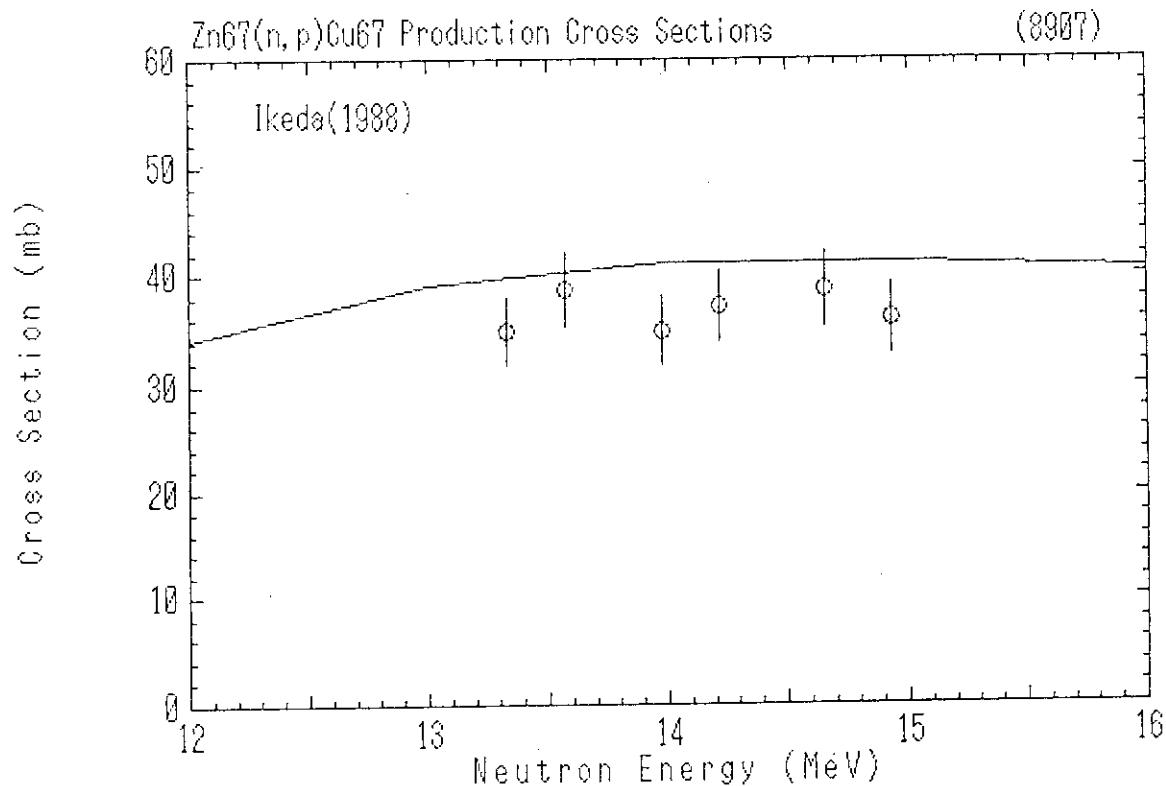
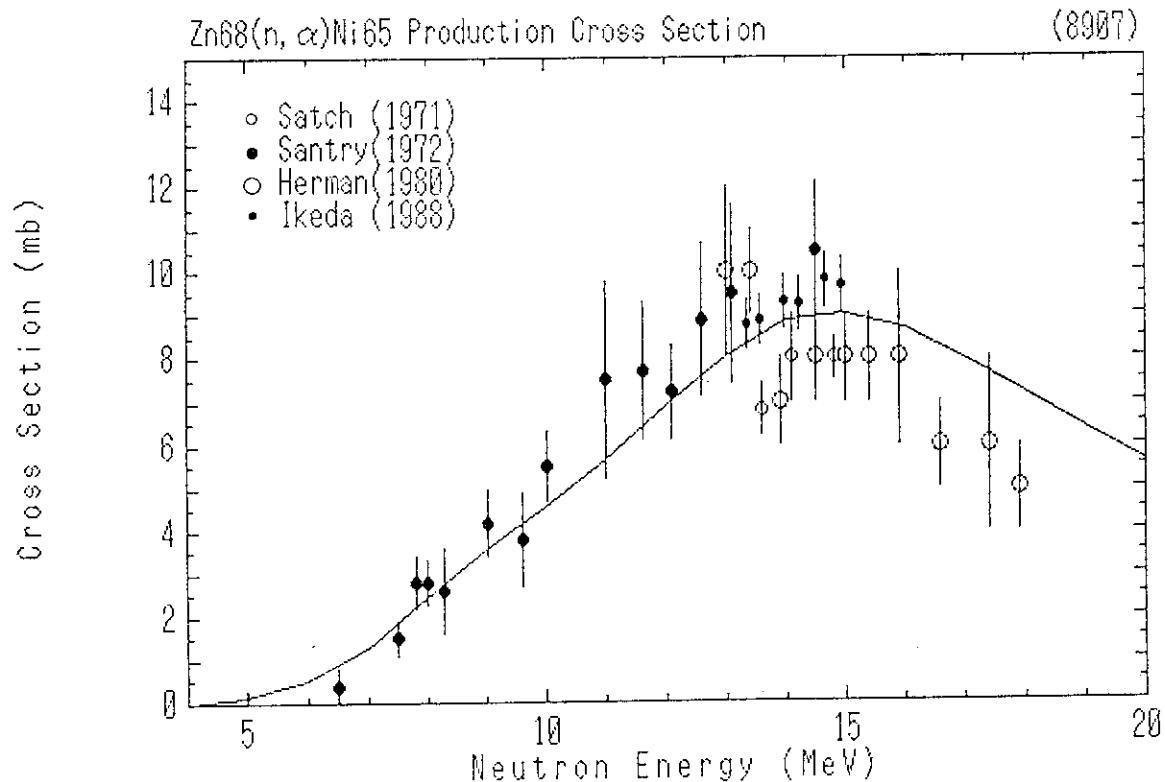
Nuclide	Level No.	Isomer State			ITratio (%)	Ground State	
		E _X (MeV)	T _{1/2}	J		T _{1/2}	J
Z=76							
189 _{Os}	2	0.0308	5.8h	9/2 ⁻	100	sta.	3/2 ⁻
190 _{Os}	(?)	1.705	9.9m	10 ⁻	100	sta.	0 ⁺
191 _{Os}	2	0.0744	13.1h	3/2 ⁻	100	15.4d	9/2 ⁻
192 _{Os}	(?)	2.015	5.9s	10 ⁻	100	sta.	0 ⁺
Z=77							
190 _{Ir}	2	0.0263	1.2h	7 ⁺	100	11.78d	4 ⁺
	3	0.1750	3.2h	11 ⁺	5.6		
191 _{Ir}	4	0.1713	4.94s	11/2 ⁻	100	sta.	3/2 ⁺
192 _{Ir}	2	0.0580	1.45m	1 ⁺	99.98	73.83d	4 ⁻
	7	0.1552	241y	9 ⁺	100		
193 _{Ir}	3	0.0802	10.6d	11/2 ⁻	100	sta.	3/2 ⁺
194 _{Ir}	(6)	0.1123	[31.85ms]	4 ⁺	100	19.15h	1 ⁻
	11	0.190	171d	10 ⁺	0		
195 _{Ir}	3	0.10	3.8h	11/2 ⁻	5	2.5h	3/2 ⁺
196 _{Ir}	5	0.410	1.4h	(10 ⁻)	(0.3)	52s	(0 ⁻)
197 _{Ir}	2	(0.10)	8.9m	(11/2 ⁻)	0	5.8m	(3/2 ⁺)
Z=78							
193 _{Pt}	6	0.1498	4.33d	13/2 ⁺	100	50y	1/2 ⁻
195 _{Pt}	8	0.2593	4.02d	13/2 ⁺	100	sta.	1/2 ⁻
197 _{Pt}	9	0.3996	94.4m	13/2 ⁺	96.7	18.3h	1/2 ⁻
199 _{Pt}	9	0.4240	13.6s	13/2 ⁺	100	30.8m	5/2 ⁻

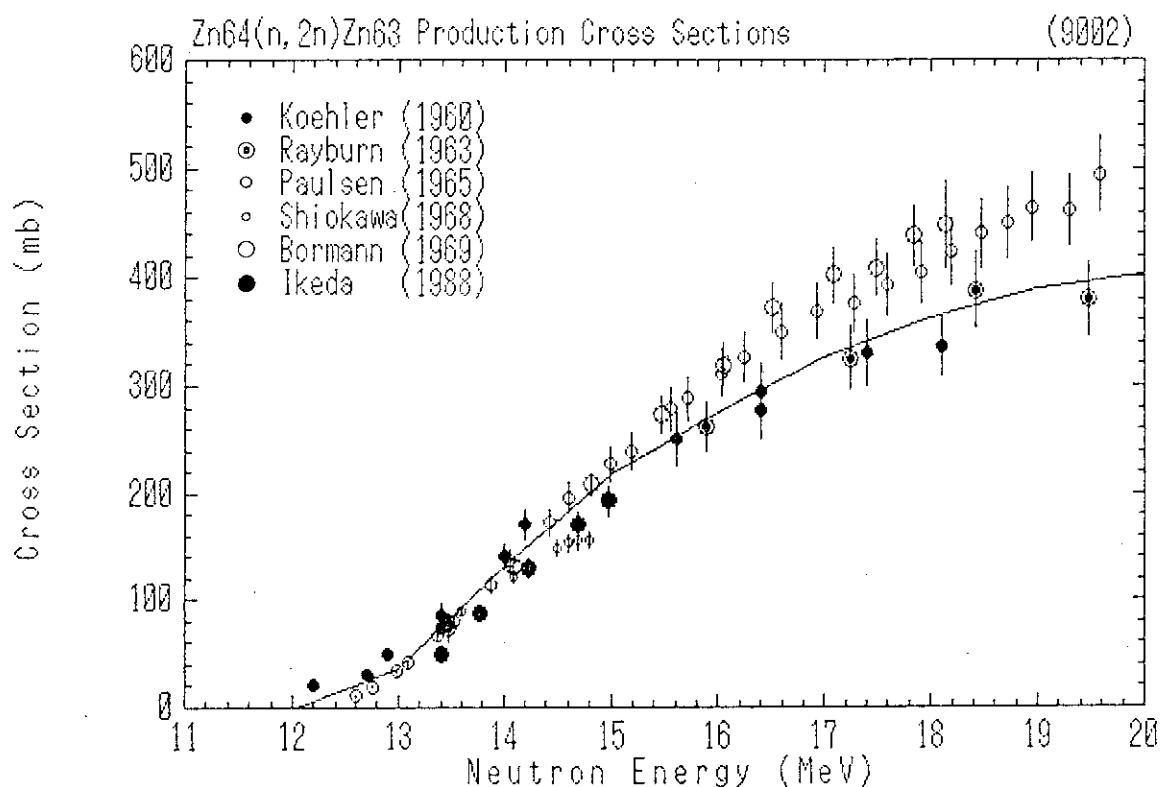
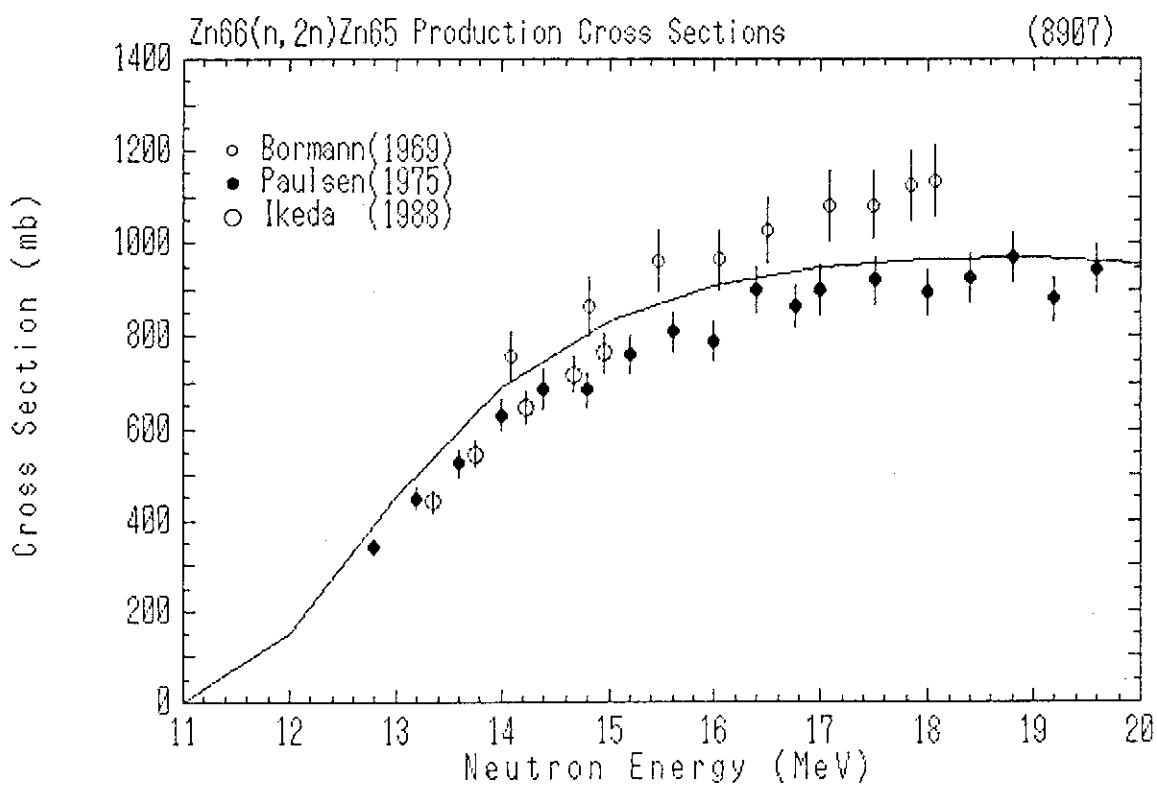
Table 3.1 Table of Isomeric States (4/4)

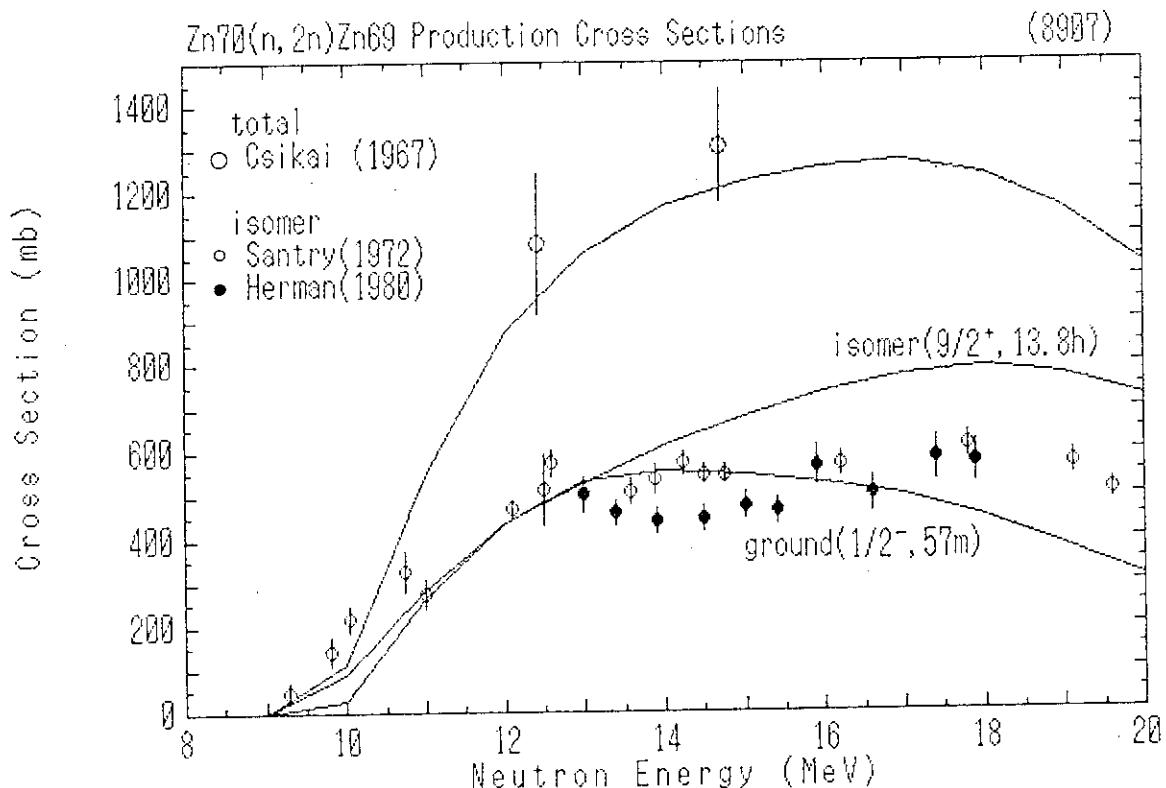
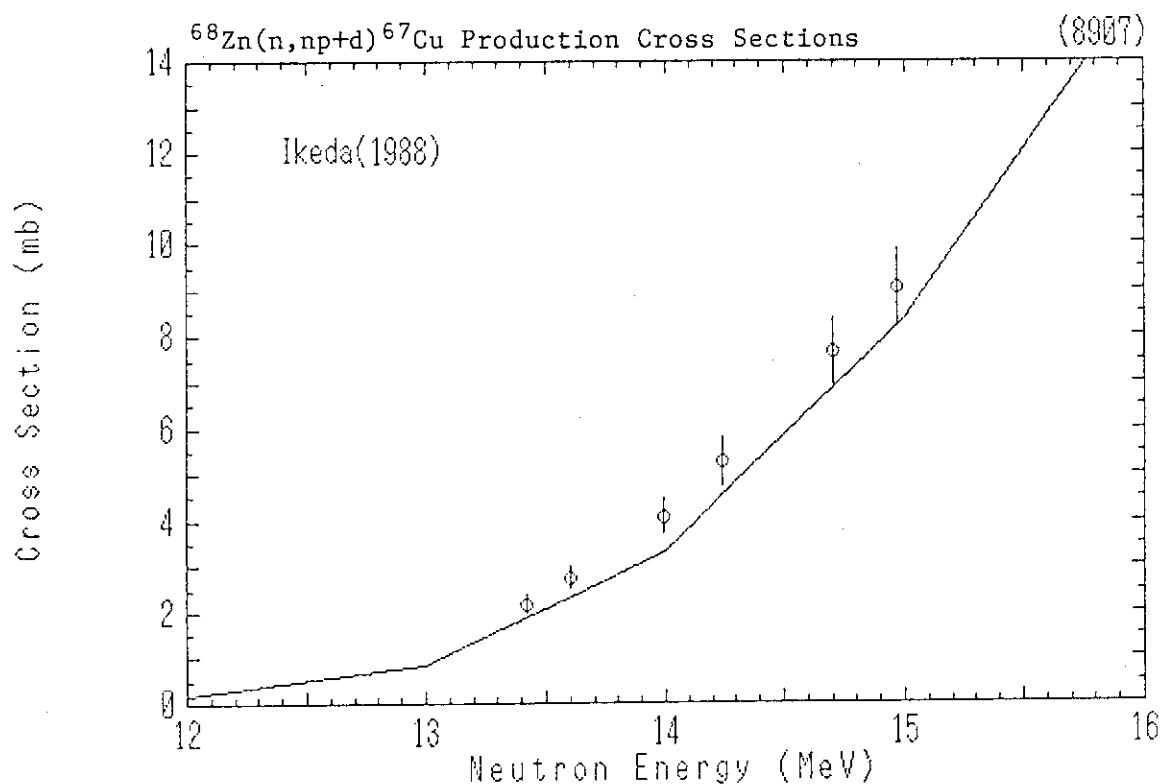
Nuclide	Level No.	Isomeric State			Ground State		
		E_x (MeV)	$T_{1/2}$	J	I Ratio (%)	$T_{1/2}$	J
Z=79							
^{195}Au	5	0.3186	30.5s	$11/2^-$	100	186.09d	$3/2^+$
^{196}Au	2	0.0847	8.1s	5^+	100	6.183d	2^-
	7	0.5957	9.7h	12^-	100		
^{197}Au	5	0.4092	7.8s	$11/2^-$	100	sta.	$3/2^+$
^{198}Au	(?)	0.8117	2.3d	12^-	100	2.696d	2^-
^{200}Au	(?)	0.990	18.7h	12^-	18	48.4m	1^-
Z=80							
^{195}Hg	4	0.1761	41.6h	$13/2^+$	54.2	9.9h	$1/2^-$
^{197}Hg	4	0.2989	23.8h	$13/2^+$	93	64.14h	$1/2^-$
^{199}Hg	8	0.5325	42.6m	$13/2^+$	100	sta.	$1/2^-$
Z=81							
^{206}Tl	(?)	2.643	3.76m	12^-	100	4.20m	0^-
^{207}Tl	3	1.3481	1.33s	$11/2^-$	100	4.77m	$1/2^+$
Z=82							
^{202}Pb	(12)	2.1698	3.53h	9^-	90.5	$5.25 \times 10^4 \text{y}$	0^+
^{203}Pb	7	0.8252	6.3s	$13/2^+$	100	51.873h	$5/2^-$
^{204}Pb	(15)	2.1857	67.2m	9^-	100	$1.4 \times 10^{17} \text{y}$	0^+
^{207}Pb	4	1.6334	0.805s	$13/2^+$	100	sta.	$1/2^-$
Z=83							
^{210}Bi	3	0.2712	$3.0 \times 10^6 \text{y}$	9^-	0	5.01d	1^-

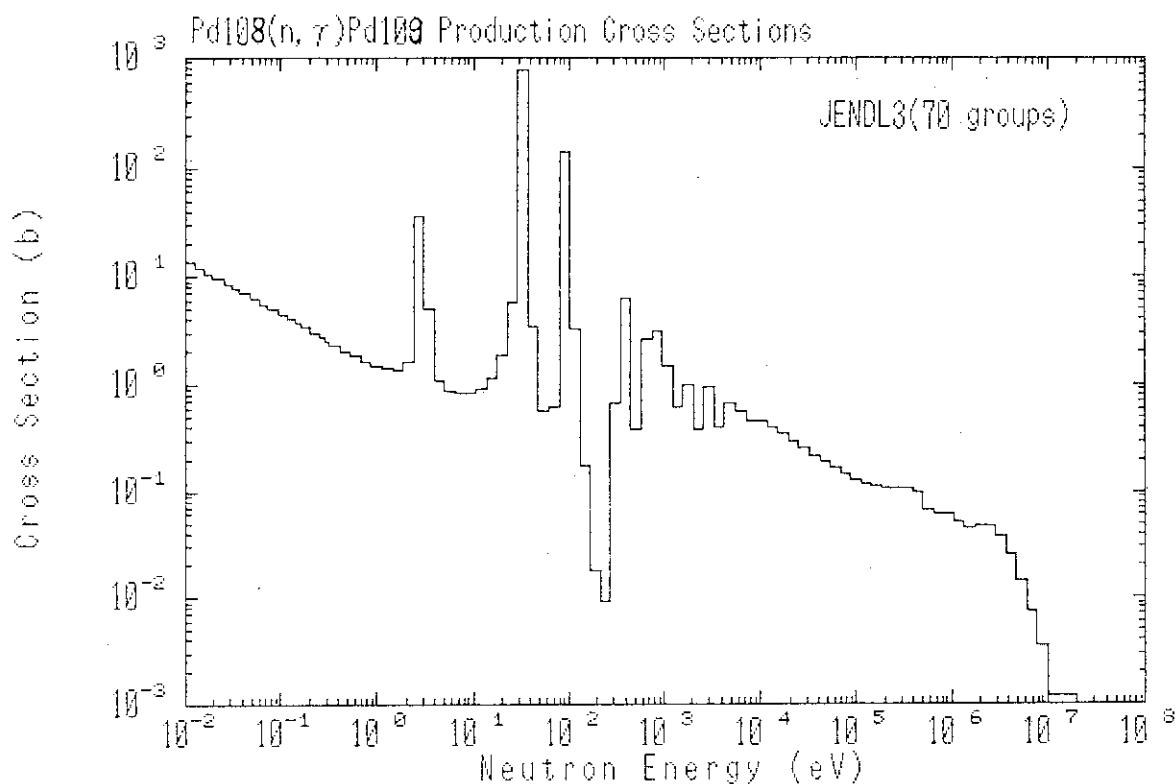
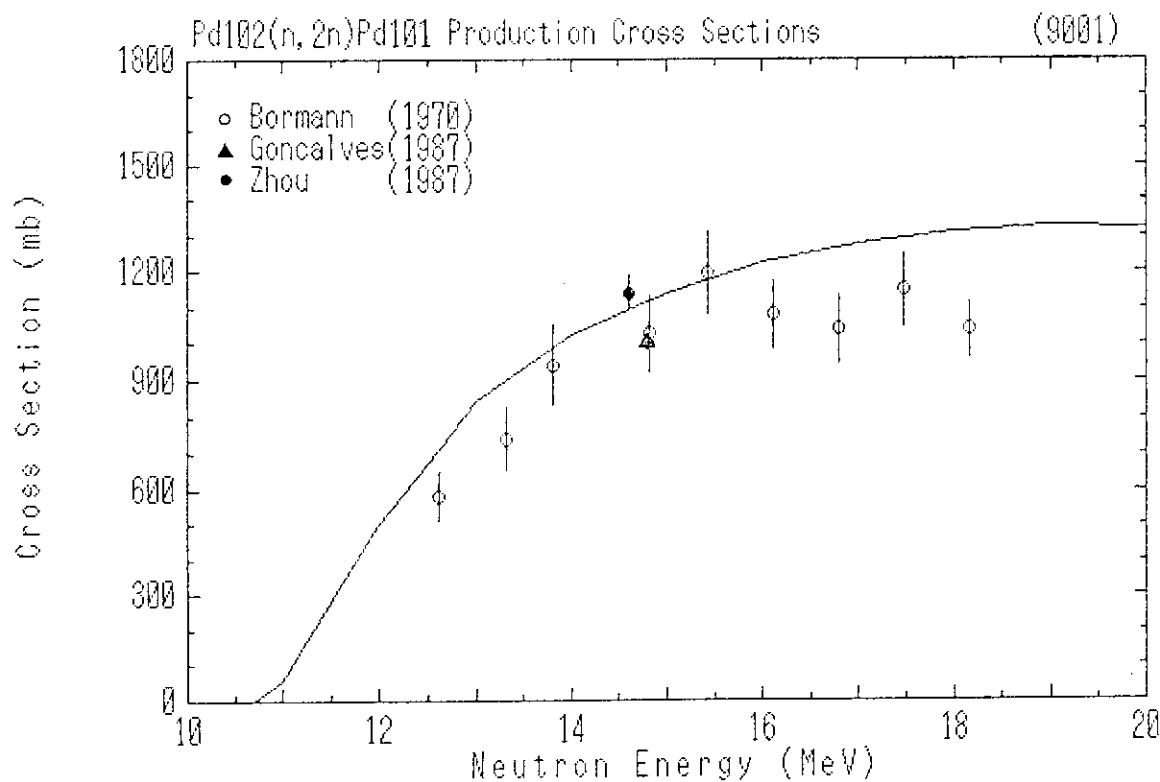
Fig. 3.1 $^{66}\text{Zn}(n, \gamma)^{67}\text{Zn}$ Production Cross SectionsFig. 3.2 $^{68}\text{Zn}(n, \gamma)^{69}\text{Zn}$ Production Cross Sections

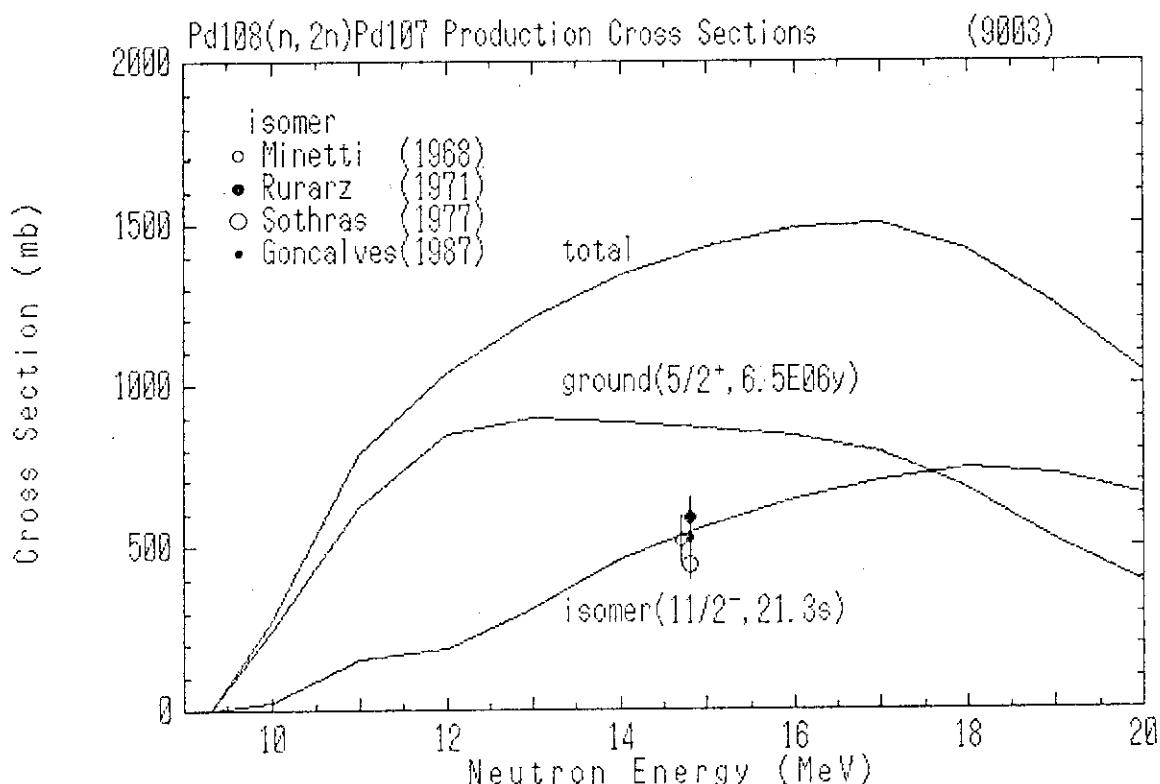
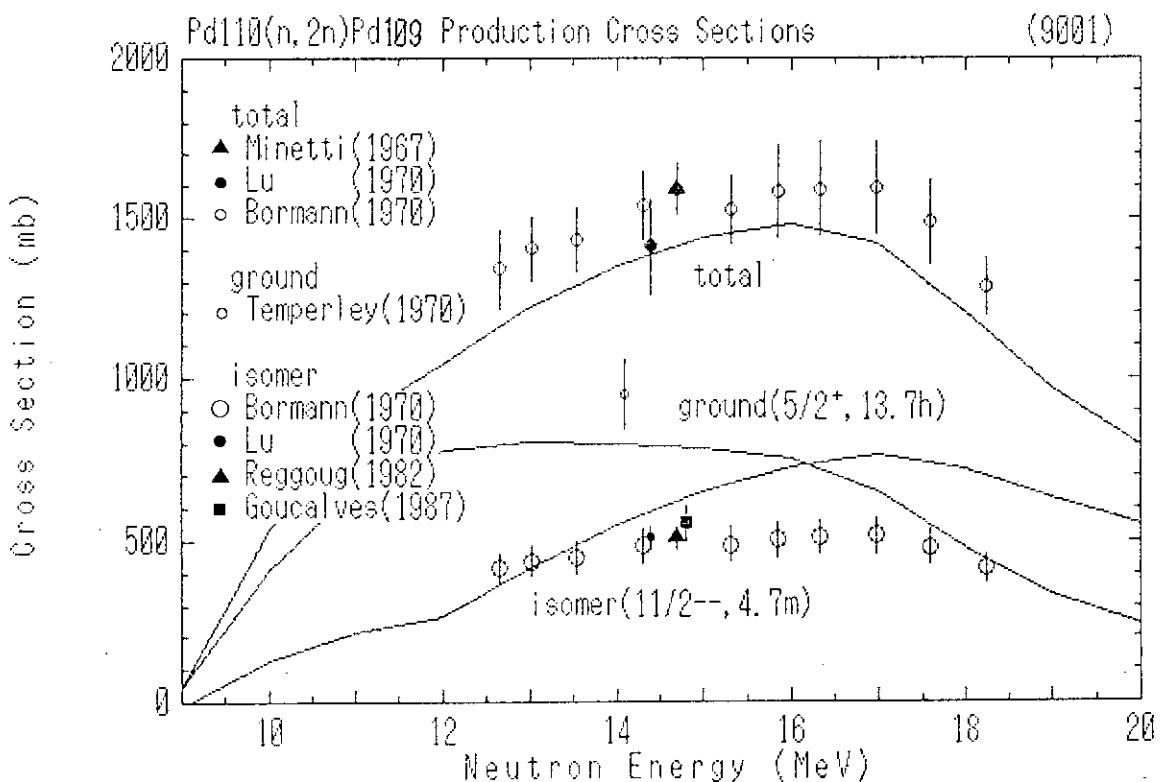
Fig. 3.3 $^{64}\text{Zn}(n, p)^{64}\text{Cu}$ Production Cross SectionsFig. 3.4 $^{66}\text{Zn}(n, p)^{66}\text{Cu}$ Production Cross Sections

Fig. 3.5 $^{67}\text{Zn}(n, p)^{67}\text{Cu}$ Production Cross SectionsFig. 3.6 $^{68}\text{Zn}(n, \alpha)^{65}\text{Ni}$ Production Cross Sections

Fig. 3.7 $^{64}Zn(n,2n)^{63}Zn$ Production Cross SectionsFig. 3.8 $^{66}Zn(n,2n)^{65}Zn$ Production Cross Sections

Fig. 3.9 $^{70}\text{Zn}(n,2n)^{69}\text{Zn}$ Production Cross SectionsFig. 3.10 $^{68}\text{Zn}(n,np+d)^{67}\text{Cu}$ Production Cross Sections

Fig. 3.11 $^{108}\text{Pd}(n,\gamma)^{109}\text{Pd}$ Production Cross SectionsFig. 3.12 $^{102}\text{Pd}(n, 2n)^{101}\text{Pd}$ Production Cross Sections

Fig. 3.13 $^{108}\text{Pd}(n, 2n)^{107}\text{Pd}$ Production Cross SectionsFig. 3.14 $^{110}\text{Pd}(n, 2n)^{109}\text{Pd}$ Production Cross Sections

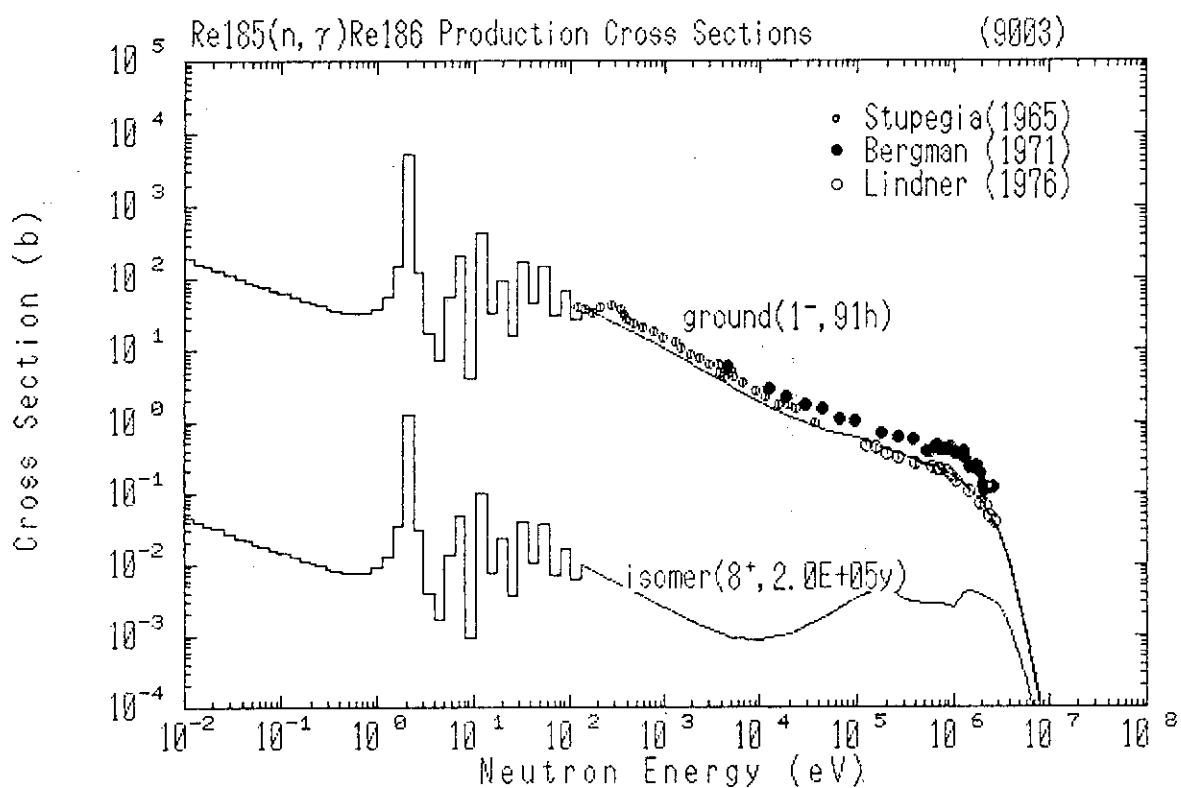
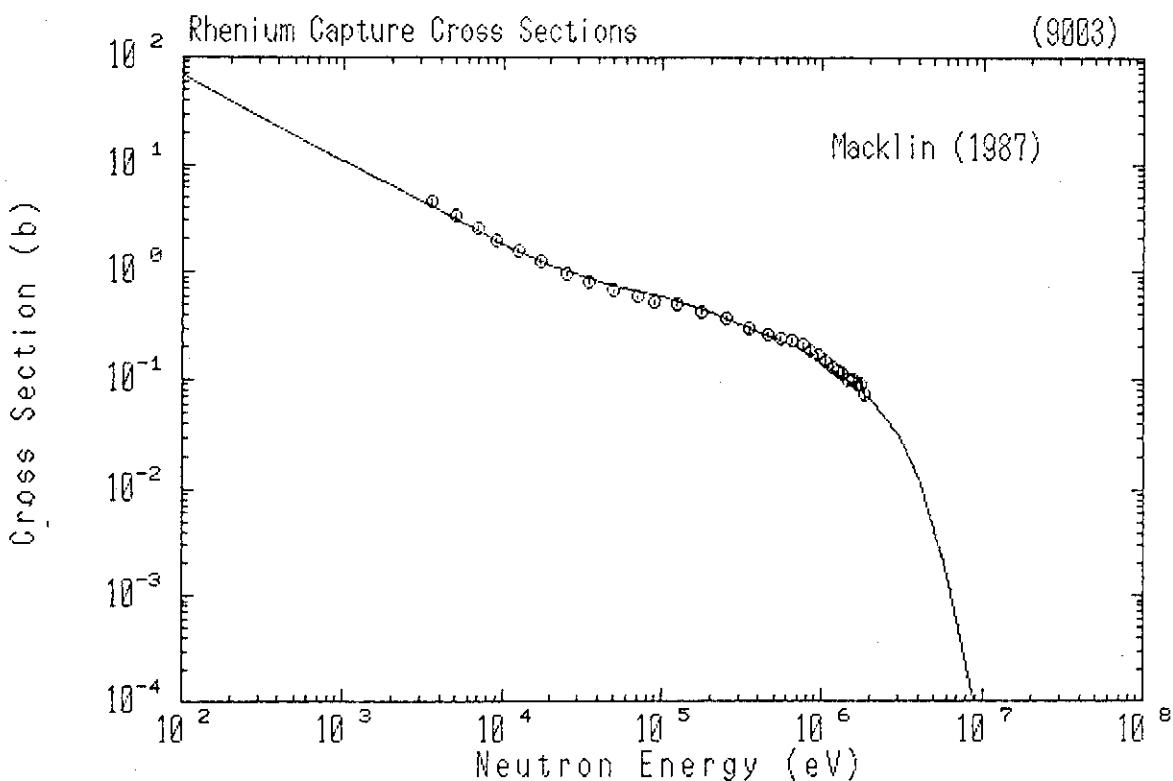
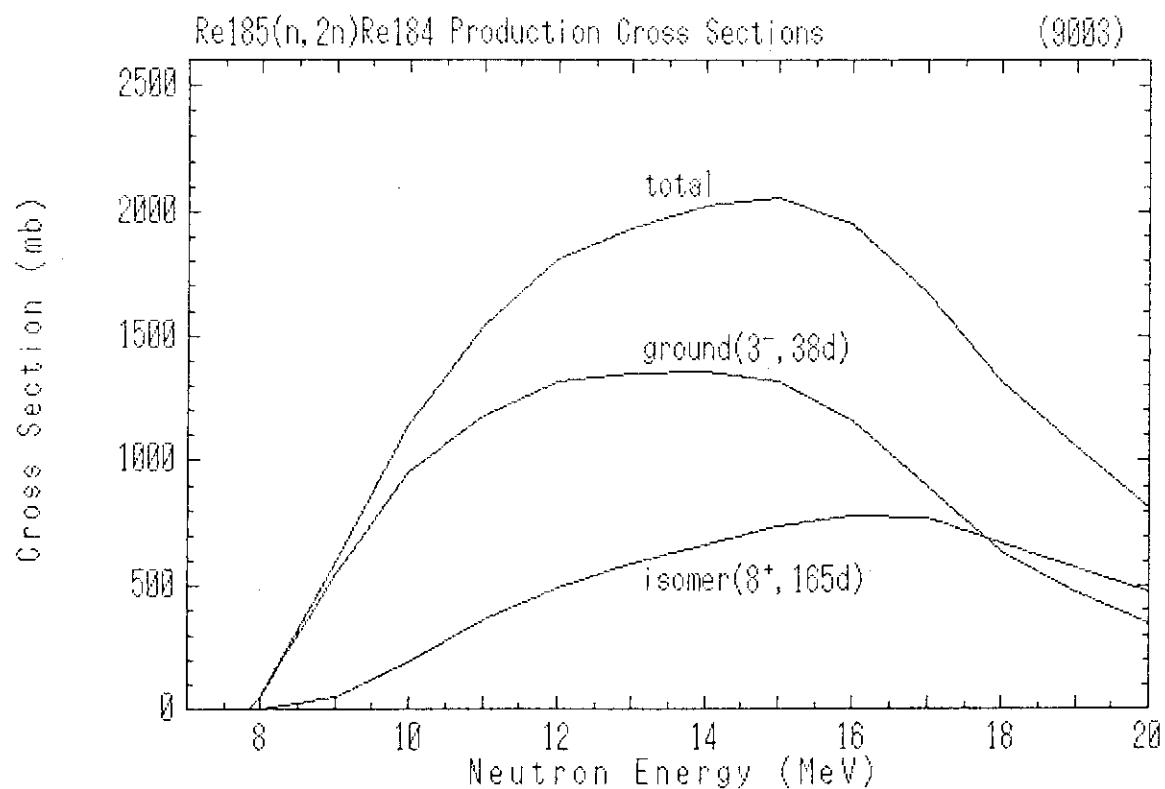
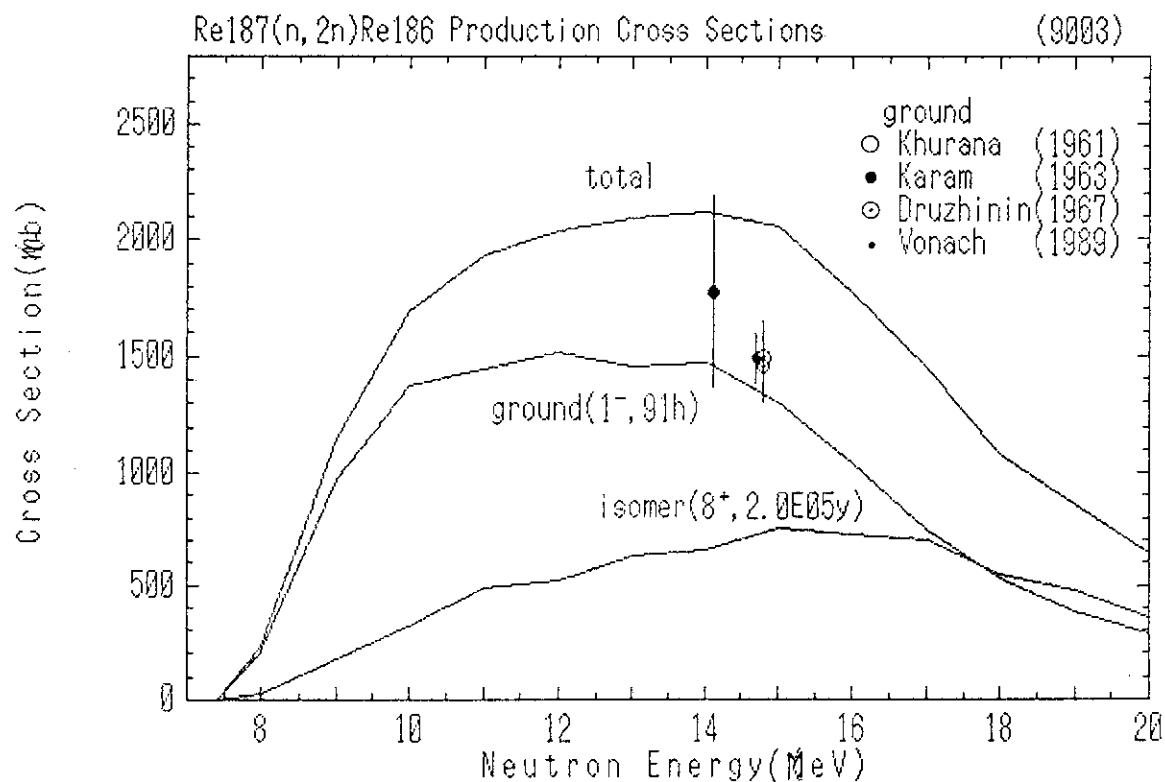
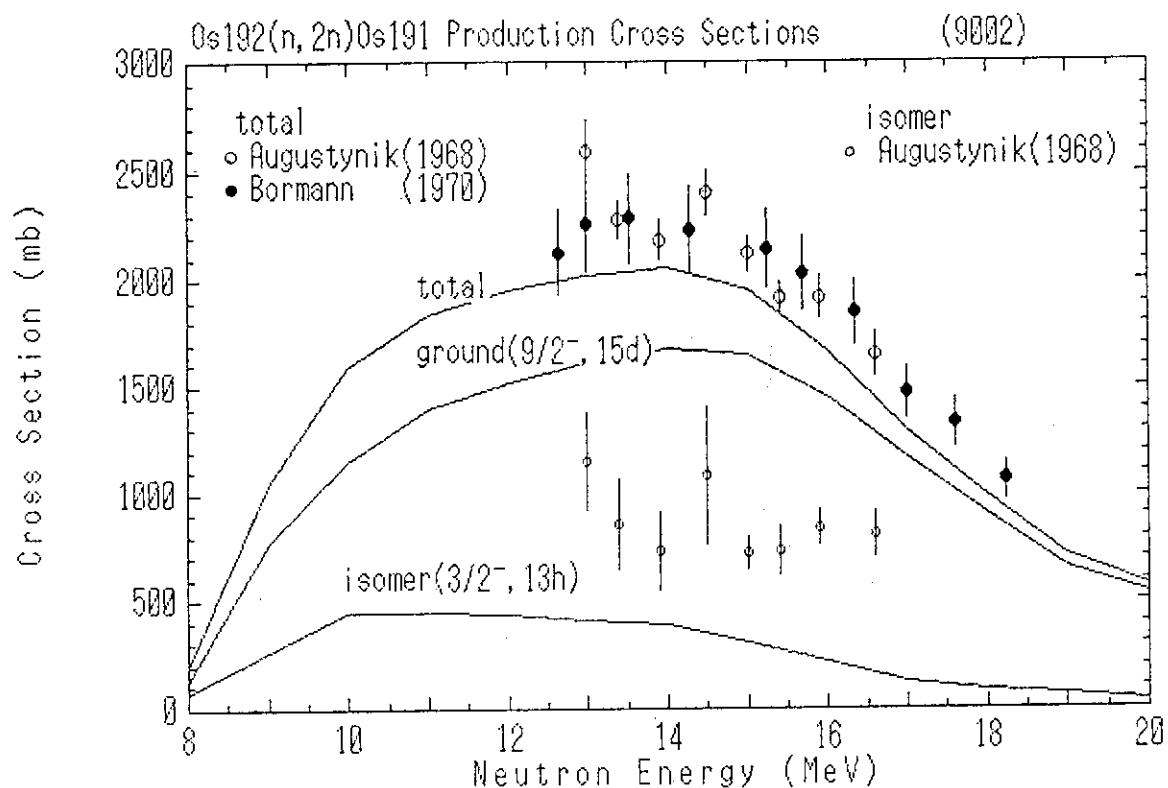
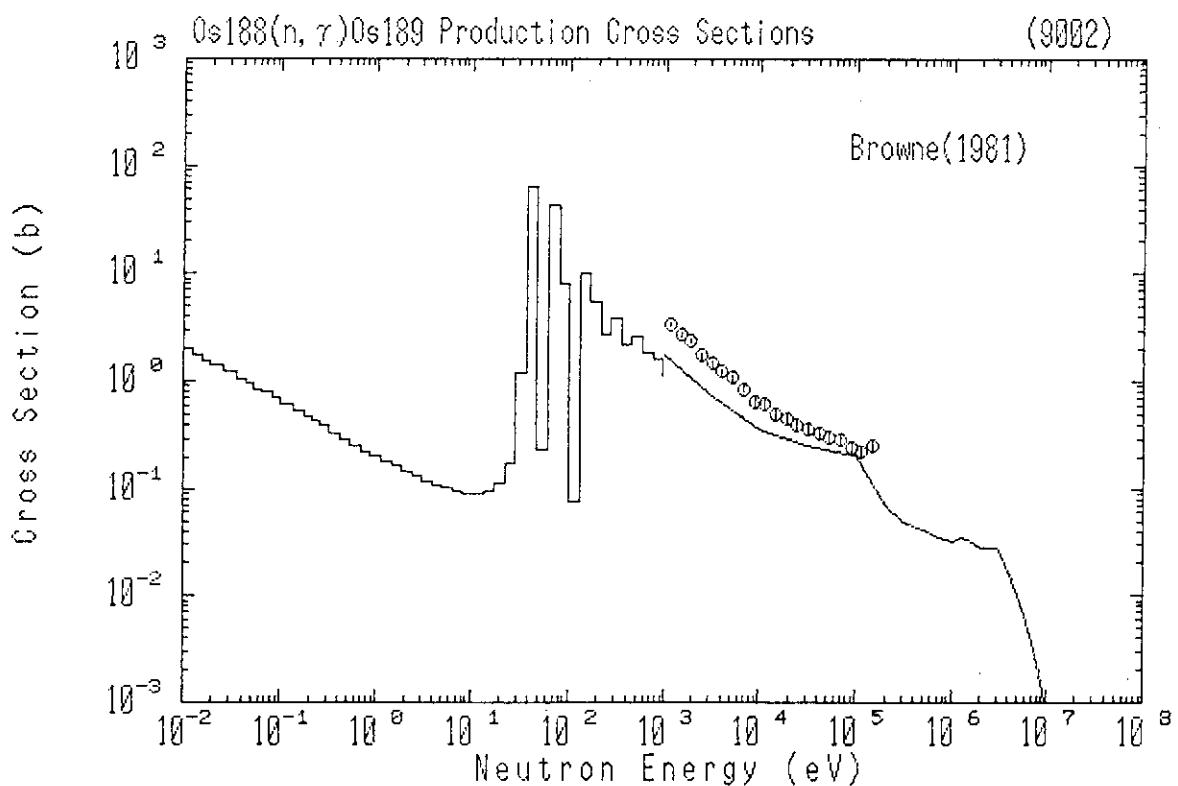
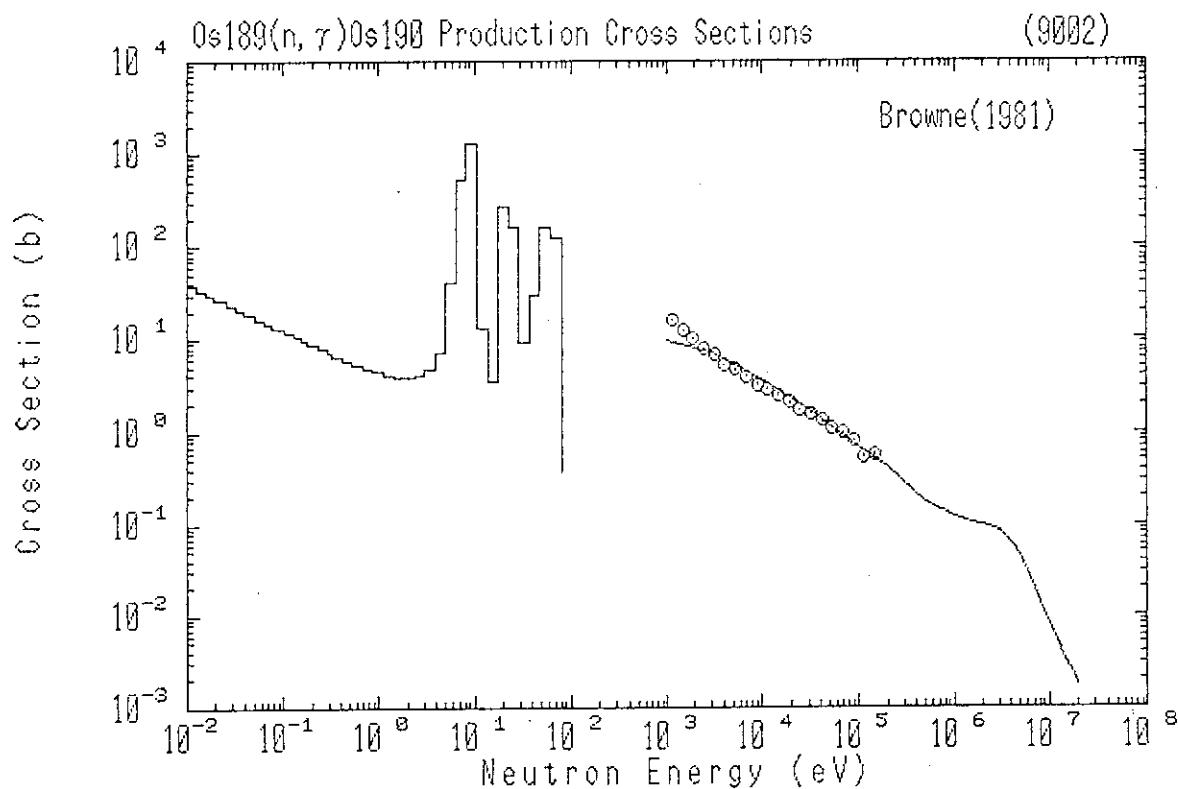
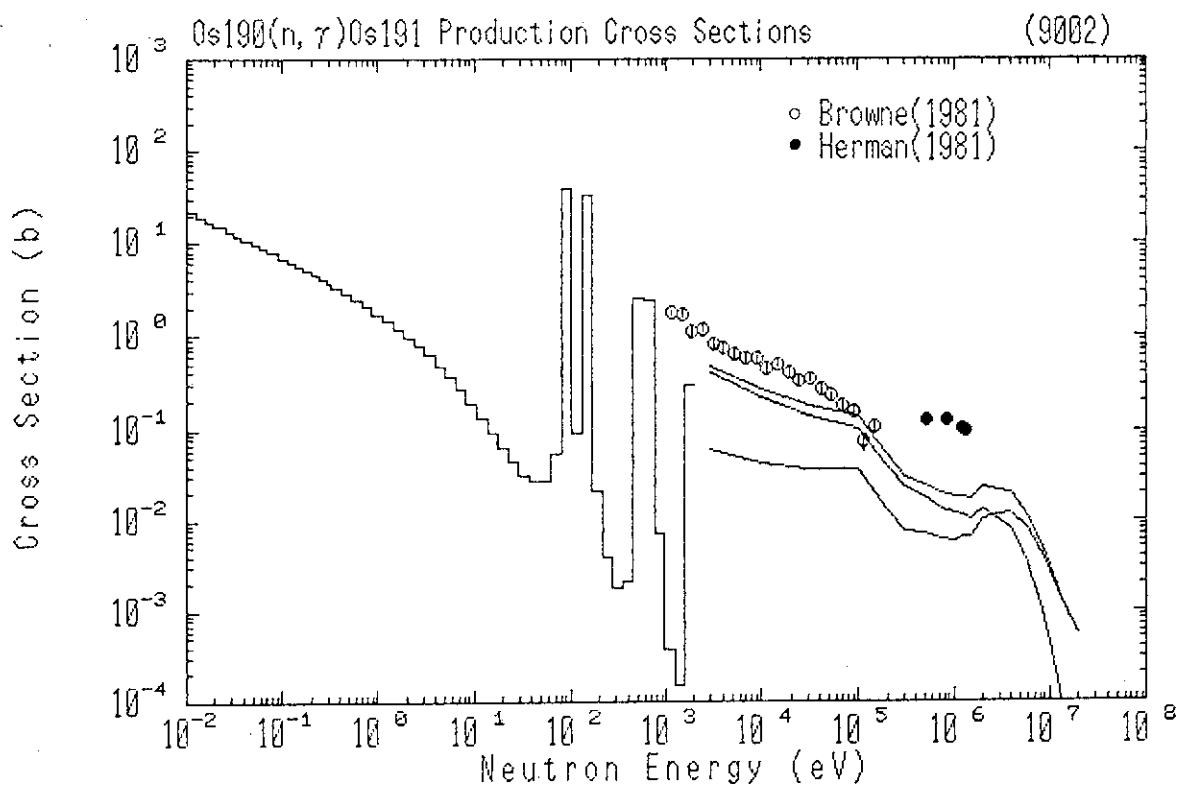
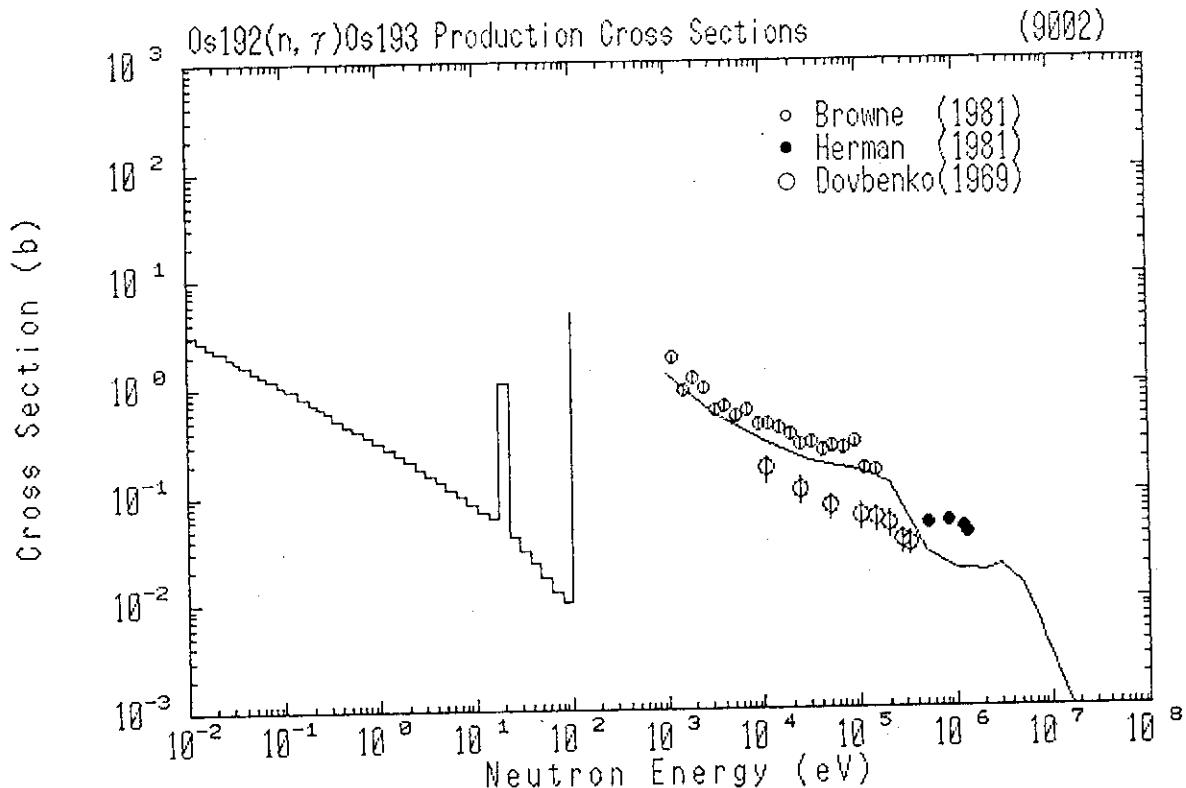
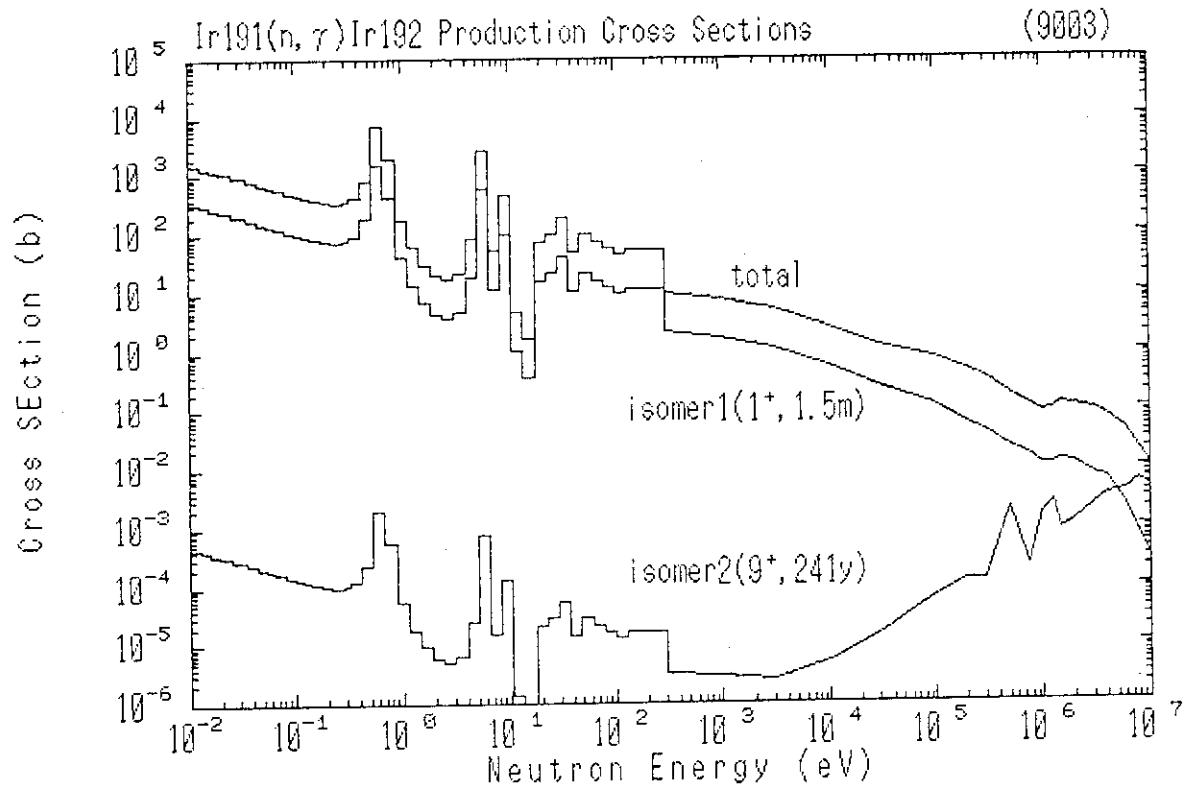
Fig. 3.15 $^{185}\text{Re}(n, \gamma)^{186}\text{Re}$ Production Cross Sections

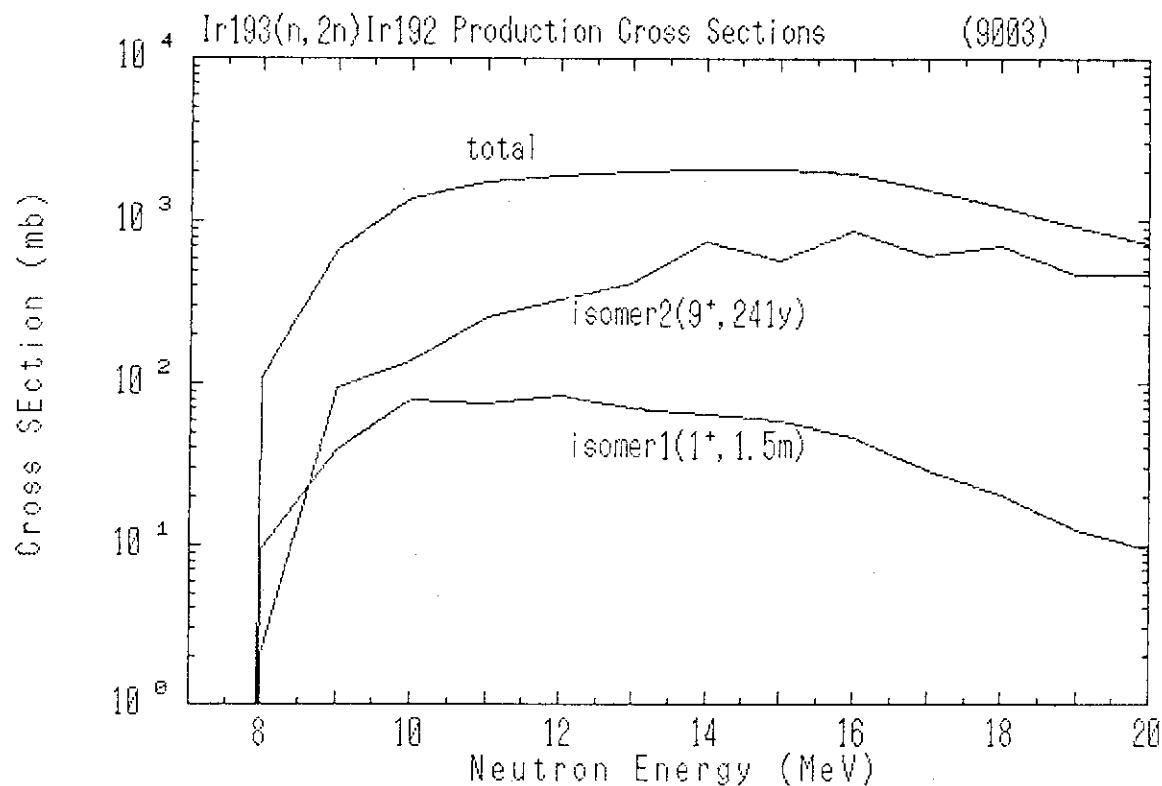
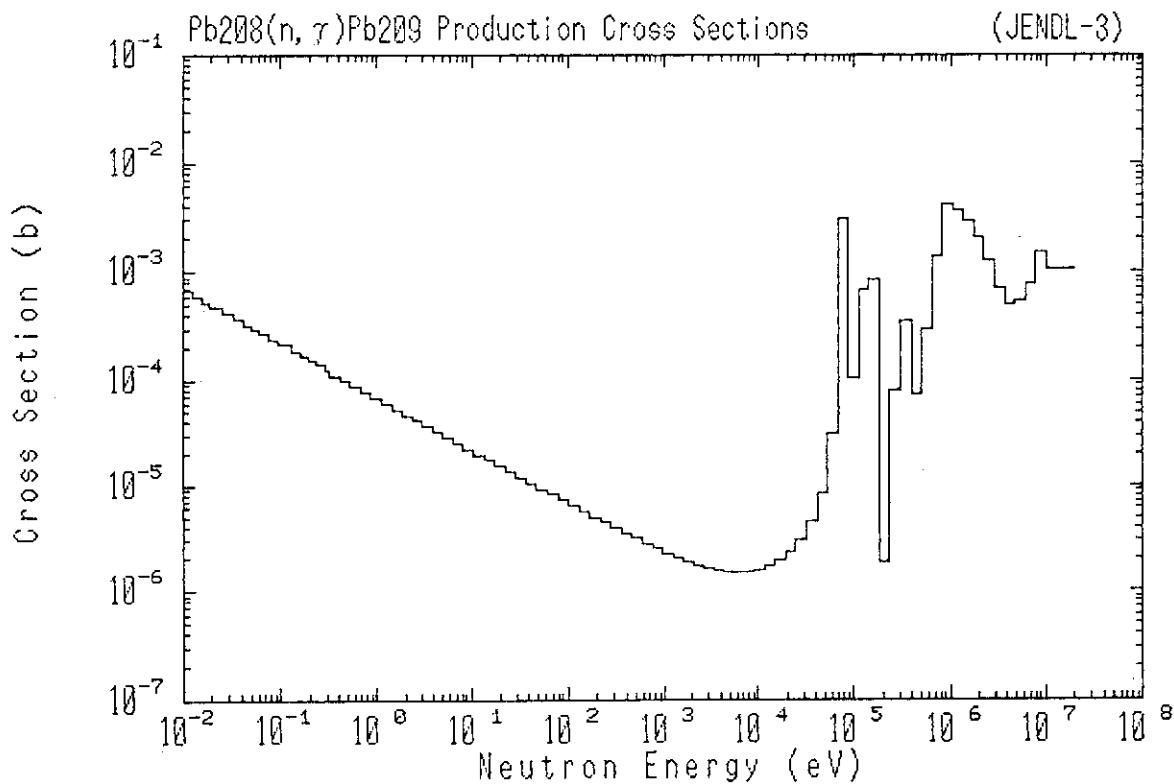
Fig. 3.16 Rhenium Capture Cross Sections

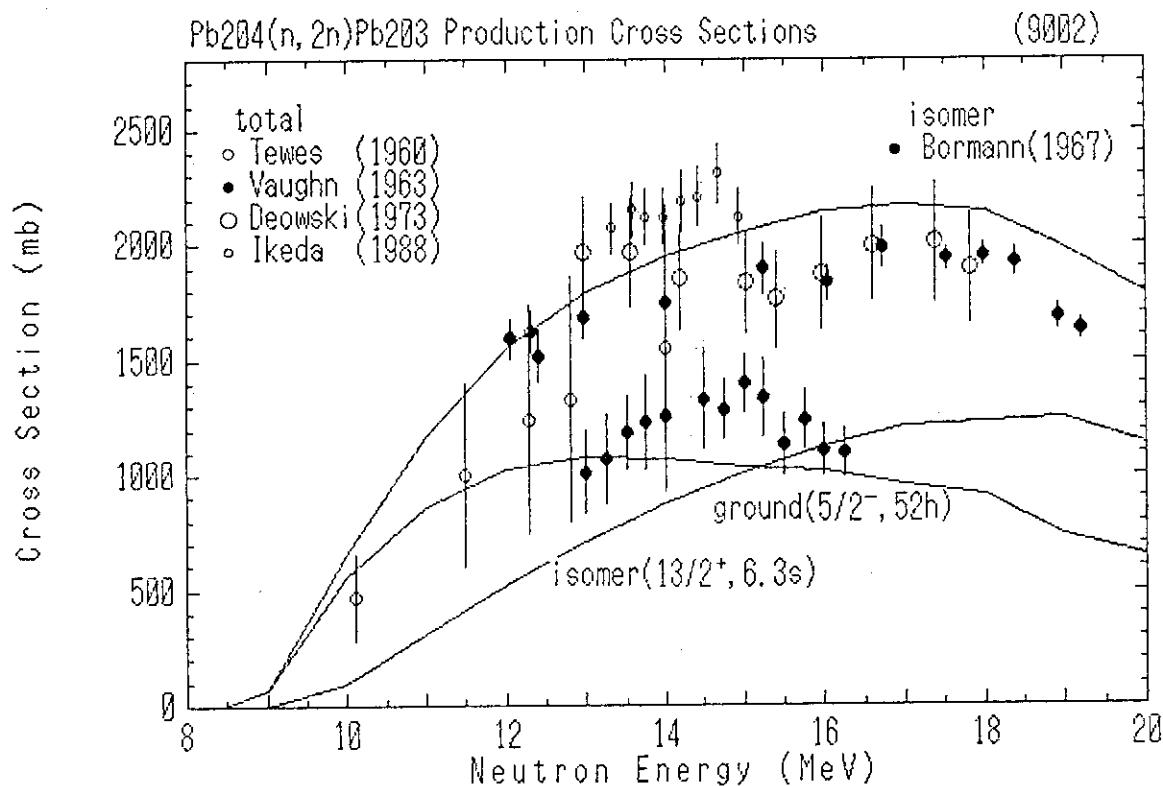
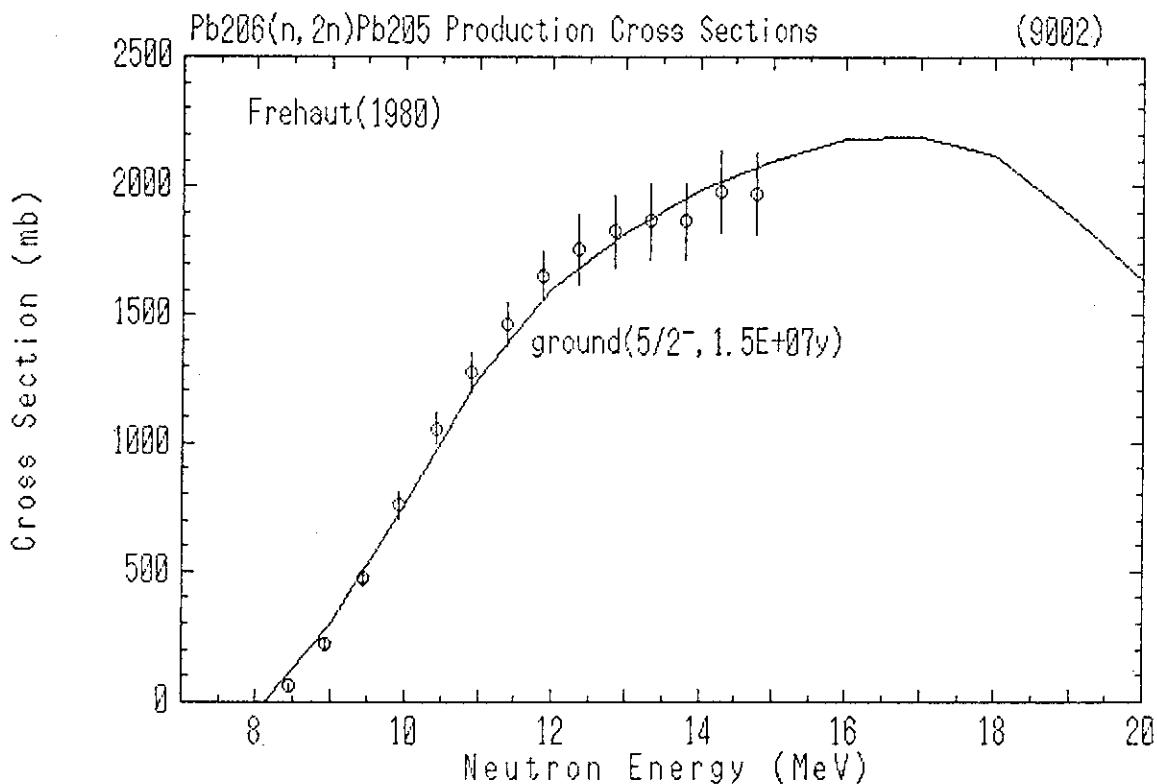
Fig. 3.17 $^{185}\text{Re}(n, 2n)^{184}\text{Re}$ Production Cross SectionsFig. 3.18 $^{187}\text{Re}(n, 2n)^{186}\text{Re}$ Production Cross Sections

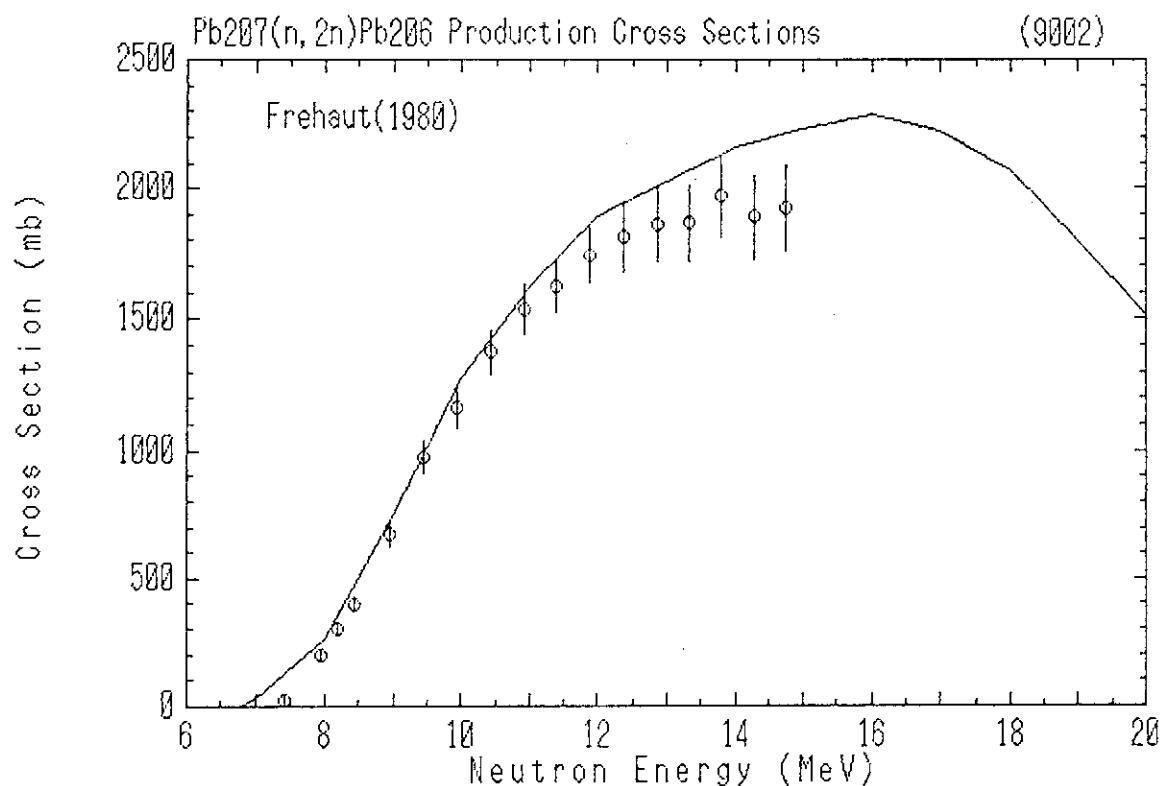
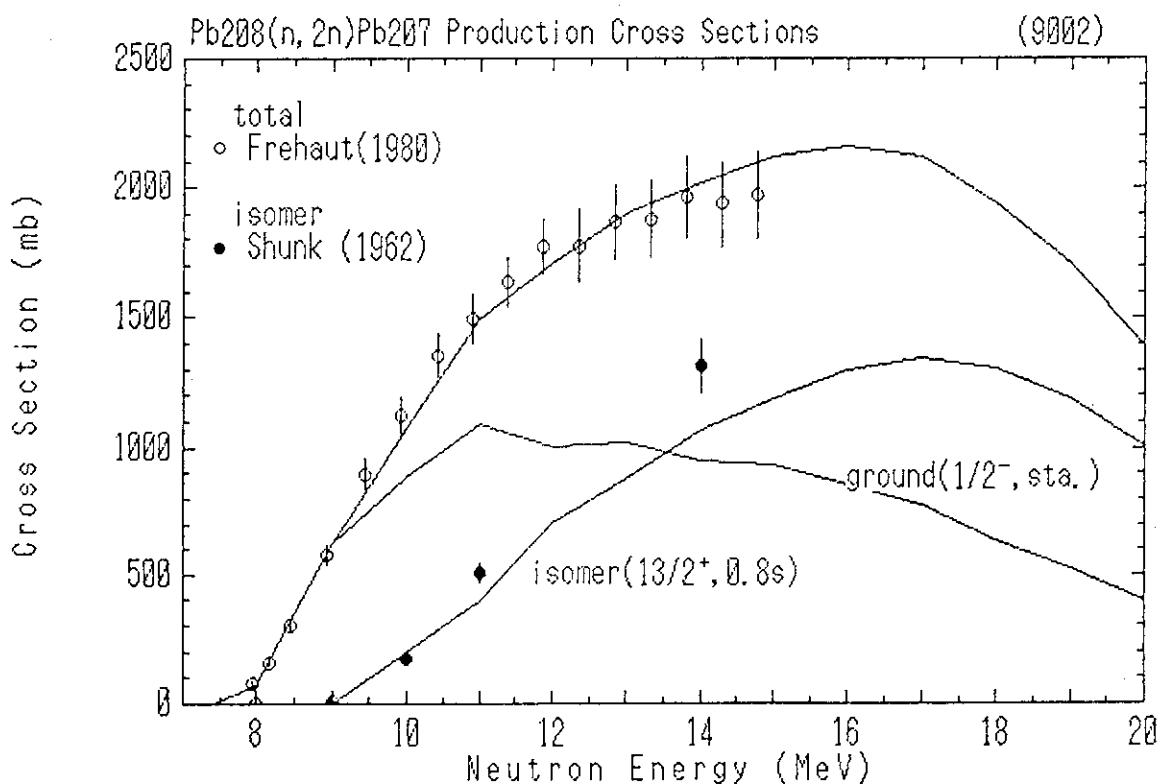
Fig. 3.19 $^{192}\text{Os}(n, 2n)^{191}\text{Os}$ Production Cross SectionsFig. 3.20 $^{188}\text{Os}(n, \gamma)^{189}\text{Os}$ Production Cross Sections

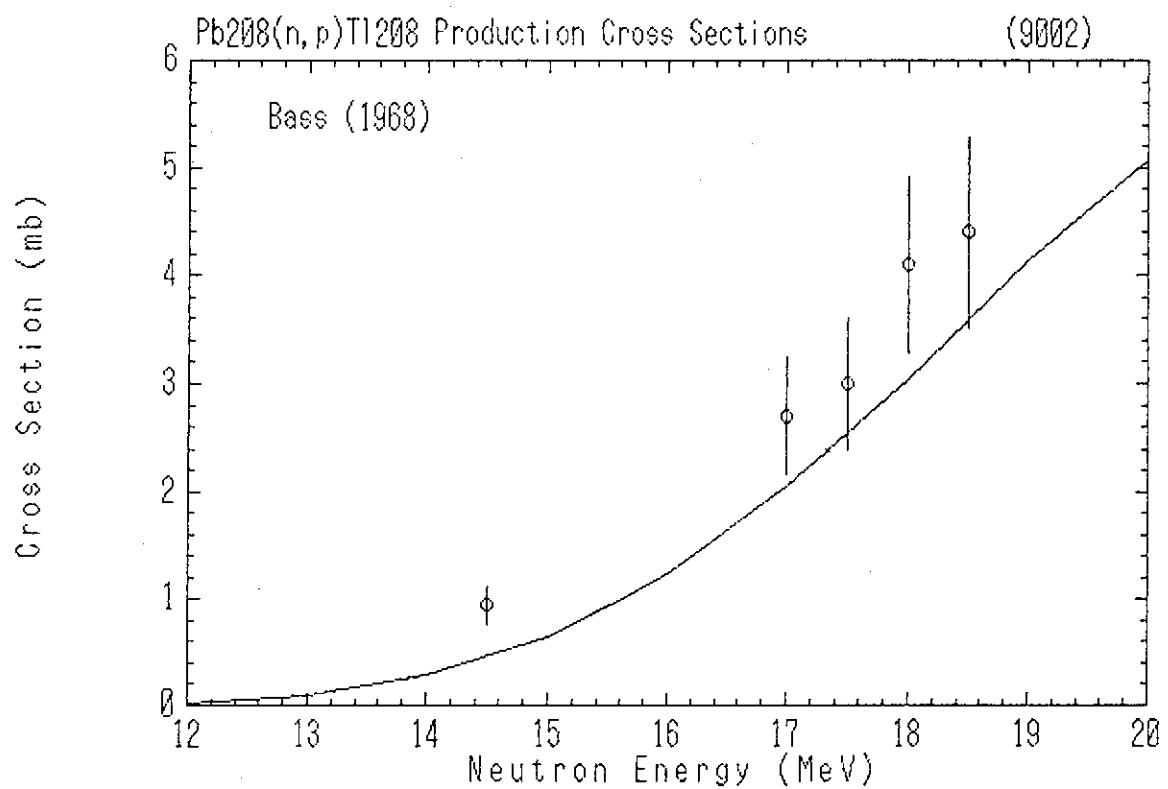
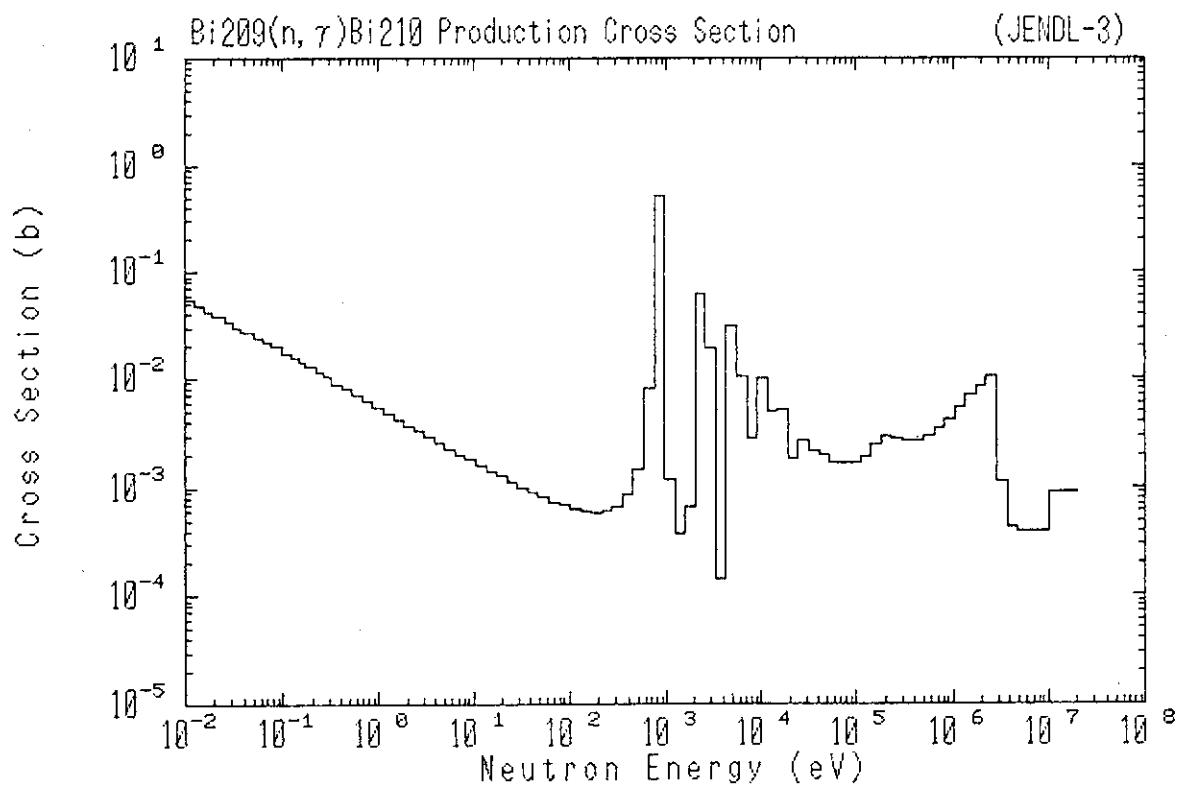
Fig. 3.21 $^{189}\text{Os}(n, \gamma)^{190}\text{Os}$ Production Cross SectionsFig. 3.22 $^{190}\text{Os}(n, \gamma)^{191}\text{Os}$ Production Cross Sections

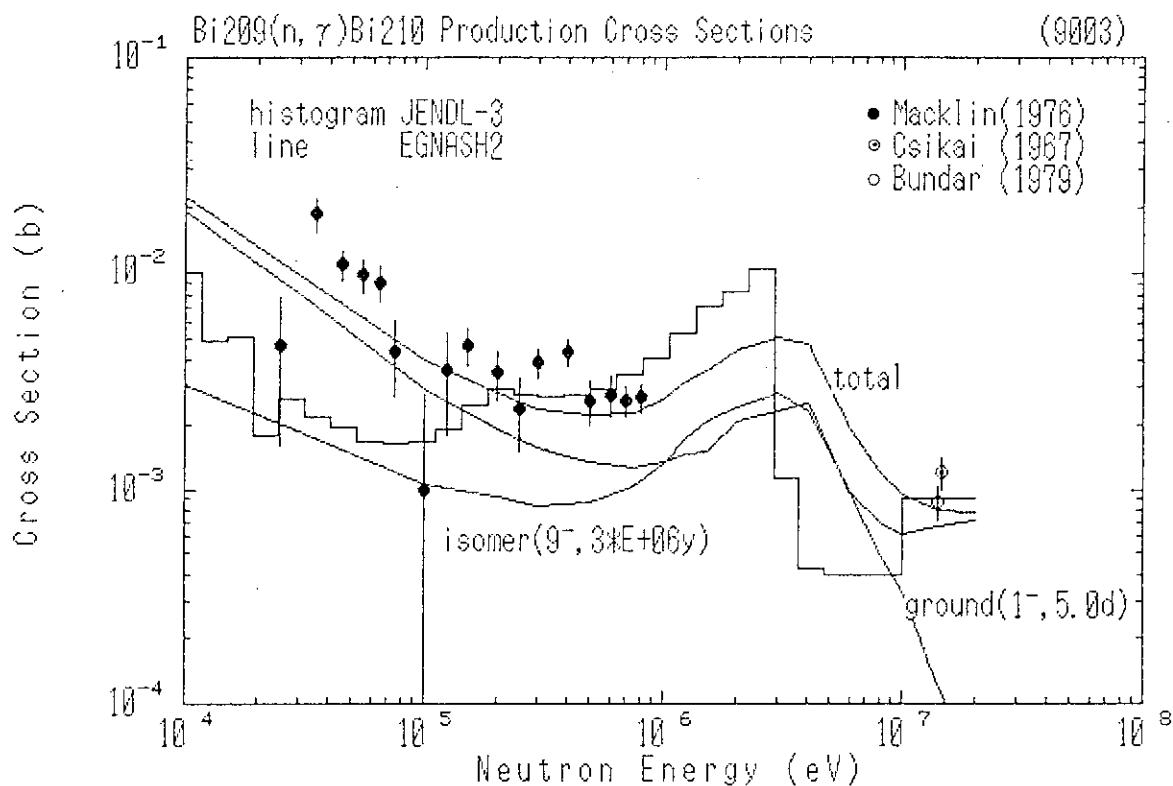
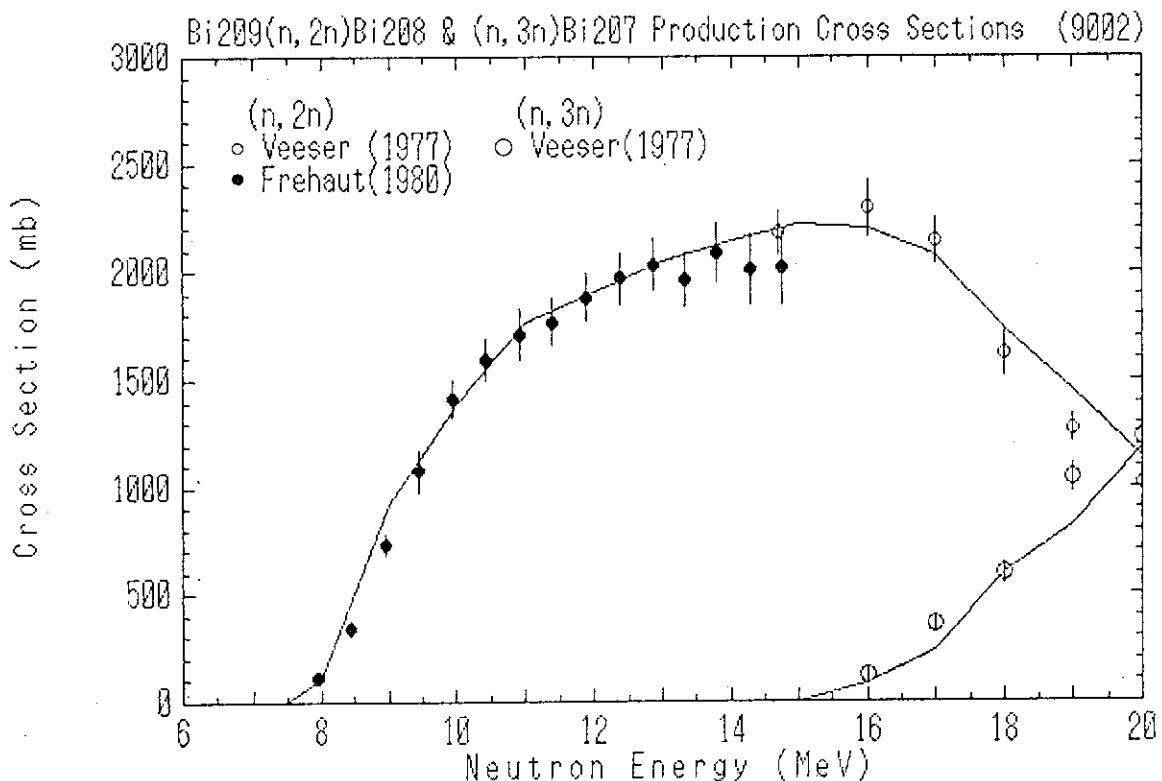
Fig. 3.23 $^{192}\text{Os}(n, \gamma)^{193}\text{Os}$ Production Cross SectionsFig. 3.24 $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)^{192}\text{Ir}$ Production Cross Sections

Fig. 3.25 $^{193}\text{Ir}(n, 2n)^{192}\text{Ir}$ Production Cross SectionsFig. 3.26 $^{208}\text{Pb}(n, \gamma)^{209}\text{Pb}$ Production Cross Sections

Fig. 3.27 $^{204}\text{Pb}(n, 2n)^{203}\text{Pb}$ Production Cross SectionsFig. 3.28 $^{206}\text{Pb}(n, 2n)^{205}\text{Pb}$ Production Cross Sections

Fig. 3.29 $^{207}\text{Pb}(n, 2n)^{206}\text{Pb}$ Production Cross SectionsFig. 3.30 $^{208}\text{Pb}(n, 2n)^{207}\text{Pb}$ Production Cross Sections

Fig. 3.31 $^{208}\text{Pb}(n, p)^{208}\text{Tl}$ Production Cross SectionsFig. 3.32 $^{209}\text{Bi}(n, \gamma)^{210}\text{Bi}$ Production Cross Sections (JENDL-3)

Fig. 3.33 $^{209}\text{Bi}(n,\gamma)^{210}\text{Bi}$ Production Cross SectionsFig. 3.34 $^{209}\text{Bi}(n,2n)^{208}\text{Bi}$ and $^{209}\text{Bi}(n,3n)^{207}\text{Bi}$ Production Cross Sections

3.2 As, Sr, Y, Ba, Sm, Tb, Hf の断面積

放射性核種生成核反応の対象としては、標記元素に含まれる安定同位体を標的核とした中性子入射の場合に限定した。それら核反応データのはほとんどは JENDL-3 の汎用ファイル及び FP ファイルに収納されているので、その評価値を採用した。しかしながら、核異性体生成断面積のデータは JENDL-3 では扱っていないので、本作業ではその核異性状態生成比の評価を行って、JENDL-3 のデータと consistent な放射化断面積データを作成した。

核異性状態生成比の評価にあたっては、一部は理論計算から求めたが、FP 核種の多くのものについては実験値を調査して推定した。GNASH コード等による計算から推定するためには、残留核のレベル・スキームが高い励起エネルギー準位まで解っている必要がある。しかしながら、FP 核種についてはレベル・スキームが不明のものが多く、理論計算からの核異性状態生成比の評価は一般に困難であった。また、FP 核種の多くの場合、核異性状態の半減期はその基底状態の半減期に比べてかなり短いために、放射化はすべて基底状態の放射化を生成する反応のみを取り扱うだけで一般の実用上には支障はない判断した。しかし、この扱いの可否については個々の場合に詳しく検討する。以下に、各元素毎の評価の概要を述べる。

3.2.1 ^{75}As

対象となる放射性核種生成核反応は

$$\begin{aligned} & ^{75}\text{As} (\text{n}, \gamma) ^{76}\text{As} (1.10\text{d}) \\ & ^{75}\text{As} (\text{n}, 2\text{n}) ^{75}\text{As} (17.78\text{d}) \\ & ^{75}\text{As} (\text{n}, \text{p}) ^{75m}\text{Ge} (48.3\text{s}), ^{75g}\text{Ge} (1.38\text{h}) \\ & ^{75}\text{As} (\text{n}, \alpha) ^{72}\text{Ga} (14.1\text{h}) \end{aligned}$$

である。上で述べたように、核異性状態生成比以外の断面積データは、JENDL-3 の FP ファイルから採用した。 (n, p) 反応の核異性体生成比は、EGNASH コードで計算を行い、JENDL-3 の全 (n, p) 断面積データを用いてアイソマー及び基底状態生成の断面積を評価した。 $^{75}\text{As} (\text{n}, \text{p}) ^{75m}\text{Ge} (48.3\text{s}), ^{75g}\text{Ge} (1.38\text{h})$ の反応断面積の評価値との比較を Fig.3.35 に示す。評価値は Grochulski ら³²⁾の実験値とほぼ合っているが、他の実験データに比べるとやや高めである。

3.2.2 Sr

対象とした標的核は $^{86,87,88}\text{Sr}$ であり、それらが関与する放射性核種生成核反応は次のとおりである。

$$\begin{aligned} & ^{86}\text{Sr} (\text{n}, \gamma) ^{87m}\text{Sr} (2.81\text{h}) \\ & ^{86}\text{Sr} (\text{n}, 2\text{n}) ^{85m}\text{Sr} (1.13\text{h}), ^{85g}\text{Sr} (64.85\text{d}) \\ & ^{86}\text{Sr} (\text{n}, \text{p}) ^{86m}\text{Rb} (1.02\text{m}) \\ & ^{86}\text{Sr} (\text{n}, \text{t}) ^{84m}\text{Rb} (20.5\text{m}) \\ & ^{86}\text{Sr} (\text{n}, 2\text{p}) ^{85m}\text{Kr} (4.48\text{h}), ^{85g}\text{Kr} (10.7\text{y}) \end{aligned}$$

$^{87}\text{Sr} (\text{n}, \text{n}') {}^{87m}\text{Sr}$ (2.81h)
 $^{87}\text{Sr} (\text{n}, \text{p}) {}^{87}\text{Rb}$ (4.8 10¹⁰ y)
 $^{87}\text{Sr} (\text{n}, \text{d}) {}^{86m}\text{Rb}$ (1.02 m), ${}^{86g}\text{Rb}$ (18.8 d)
 $^{87}\text{Sr} (\text{n}, \text{np}) {}^{86m}\text{Rb}$ (1.02 m), ${}^{86g}\text{Rb}$ (18.8 d)
 $^{87}\text{Sr} (\text{n}, {}^3\text{He}) {}^{85m}\text{Kr}$ (4.48 h), ${}^{85g}\text{Kr}$ (10.7 y)

 $^{88}\text{Sr} (\text{n}, \gamma) {}^{89m}\text{Sr}$ (50.5 d)
 $^{88}\text{Sr} (\text{n}, 2\text{n}) {}^{87m}\text{Sr}$ (2.81h)
 $^{88}\text{Sr} (\text{n}, \text{p}) {}^{88}\text{Rb}$ (17.8 m)
 $^{88}\text{Sr} (\text{n}, \text{t}) {}^{86m}\text{Rb}$ (1.02 m), ${}^{86g}\text{Rb}$ (18.8 d)
 $^{88}\text{Sr} (\text{n}, \alpha) {}^{85m}\text{Kr}$ (4.48 h), ${}^{85g}\text{Kr}$ (10.76 y)

これら核反応で生成する核異性体の半減期は、1つの例外を除き、その基底状態の半減期に比べてかなり短く、また、崩壊はすべて基底状態を経由するので、核異性状態生成を区別せずにすべて基底状態へ行く核反応を対象とした。それら核反応の断面積データには、JENDL-3 のFPファイルのものを採用した。

例外は、 ${}^{87m}\text{Sr}$ を生成する ${}^{86}\text{Sr} (\text{n}, \gamma)$, ${}^{87}\text{Sr} (\text{n}, \text{n}')$, ${}^{88}\text{Sr} (\text{n}, 2\text{n})$ 反応であって、これらは実験値を用いて評価を行った。

(n, γ) 断面積については、thermal energy での核異性状態及び基底状態生成断面積のGr yntakis ら³³⁾の推奨値から核異性状態生成比 = 0.808 を求め、JENDL-3 の全捕獲断面積を用いて評価値とした。その際、核異性状態生成比は入射中性子エネルギーに依存せず一定とした。評価結果を実験値と比較して Fig. 3.36 に示した。

(n, n') 及び $(\text{n}, 2\text{n})$ 反応による核異性体生成断面積は、それぞれの実験データのeye-guide から評価を行った。それらの評価値を実験値と比較してそれぞれ Fig. 3.37 及び Fig. 3.38 に示した。

3.2.3 ${}^{89}\text{Y}$

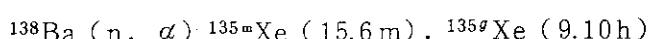
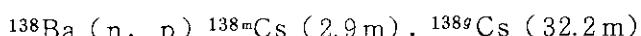
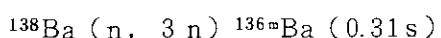
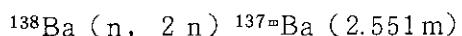
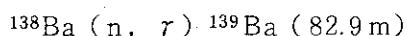
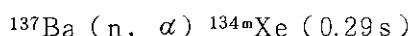
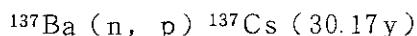
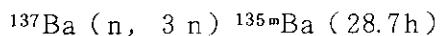
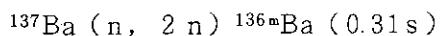
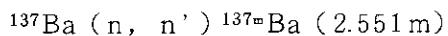
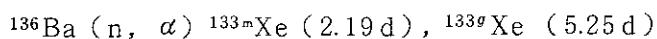
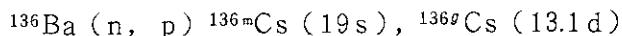
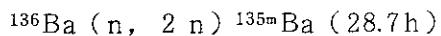
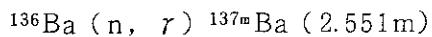
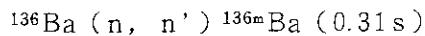
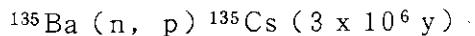
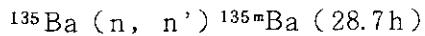
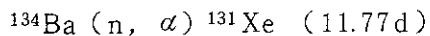
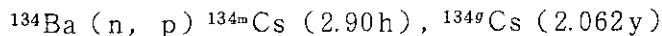
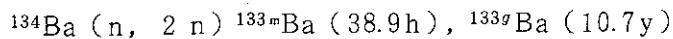
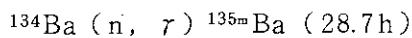
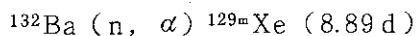
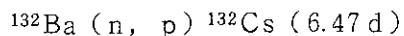
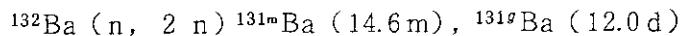
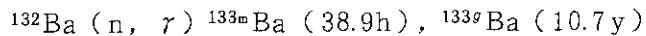
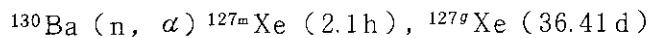
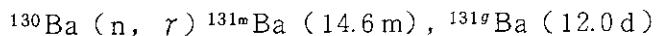
対象となる放射性核種生成核反応は

${}^{89}\text{Y} (\text{n}, \gamma) {}^{90m}\text{Y}$ (3.19 h), ${}^{90g}\text{Y}$ (2.67 d)
 ${}^{89}\text{Y} (\text{n}, 2\text{n}) {}^{88}\text{Y}$ (106.61 d)
 ${}^{89}\text{Y} (\text{n}, \text{p}) {}^{89}\text{Sr}$ (50.5 d)
 ${}^{89}\text{Y} (\text{n}, \alpha) {}^{86m}\text{Rb}$ (1.02 m), ${}^{86g}\text{Rb}$ (18.66 d)

である。これら放射性核種生成核反応もすべて 3.2.2 項の Sr の場合と同様に、生成される核異性状態はすべて短半減期の上に基底状態を通じて崩壊するので、基底状態への放射化反応のみを扱うこととして、断面積データは JENDL-3 の FP ファイルから採った。なお、 ${}^{89}\text{Y} (\text{n}, \text{n}')$, ${}^{89m}\text{Y}$ (16.06 s) は生成核が短半減期のために除外した。

3.2.4 Ba の断面積

Ba には、質量数 130, 132, 134, 135, 136, 137, 138 の 7 つの安定同位体がある。これらを標的とした中性子核反応で、放射性核種を生成する反応には次のものがある。



これら反応の全断面積の評価値には、JENDL-3のFPファイルのデータを採用し、核異性体生成断面積の評価に当たっては概ね、核異性体の生成比をEGNASHコードを使って計算して、その値をJENDL-3の全反応断面積に乗じて核異性体生成断面積を導出した。しかし、実験値を十分に再現できない反応については、生成比又は生成断面積を実験値に規格化して評価値を決定した。以下に、評価結果の一部について評価の過程とともに、評価値と実験値との比較を行う。

Fig. 3.39に¹³²Ba(n, 2n)反応における¹³¹Ba(53m)の生成断面積の結果を示したが、この場合、生成比の計算値からは実験データを再現できなかったので、Ruratzら³⁵⁾の実験値の平均値(0.59b)に合うように生成比を規格化して生成断面積が求められた。

¹³⁴Ba(n, 2n)反応における¹³⁴Ba生成断面積の結果をFig. 3.40に示したが、評価値はIkedaら²⁶⁾の実験値に合うように計算値を規格化して求められた。

Fig. 3.41に、¹³⁵Ba(n, p)反応における¹³⁵Csの生成断面積の評価結果と実験値との比較を示した。この場合は、Ikedaら²⁶⁾の実験データを用いて14MeVでの核異性状態生成比を求め、その生成比の中性子エネルギー依存性は無視できるとして断面積の評価値を決めた。

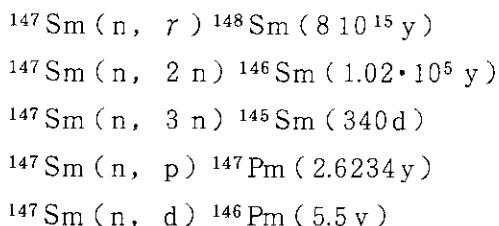
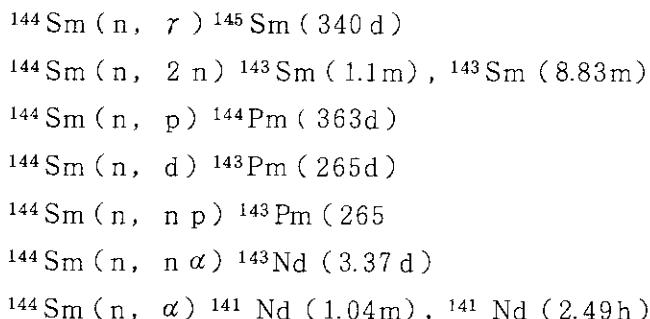
Fig. 3.42は、¹³⁶Ba(n, 2n)反応における¹³⁵Ba(28.7h)の生成断面積の評価結果である。この場合もIkedaら²⁶⁾の14MeV近傍での実験データに計算値を規格化して評価値を決めた。

Fig. 3.43に、¹³⁷Ba(n, 2n)反応における核異性状態生成の断面積の計算結果を実験値と比較して示した。計算値は実験値をほぼ再現している。

Fig. 3.44は、¹³⁸Ba(n, 2n)反応における核異性状態生成の断面積の計算結果と実験値との比較を示した。実験データはかなりバラついているので詳しい判定はできないが、計算値は実験値をほぼ再現している。

3.2.5 Sm

Smには、質量数144, 147, 148, 149, 150, 152, 154の7つの安定同位体ある。それらを標的核とした中性子入射の放射性核種生成核反応には次のものがある。



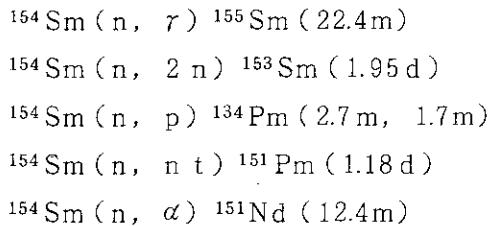
$^{147}\text{Sm}(\text{n}, \text{t})^{145}\text{Pm}$ (17.7 y)
 $^{147}\text{Sm}(\text{n}, \text{n p})^{146}\text{Pm}$ (5.5 y)
 $^{147}\text{Sm}(\text{n}, \text{n d})^{145}\text{Pm}$ (17.7 y)
 $^{147}\text{Sm}(\text{n}, \text{n t})^{144}\text{Pm}$ (349 d)
 $^{147}\text{Sm}(\text{n}, \alpha)^{144}\text{Nd}$ ($2.4 \cdot 10^{15}$ y)

$^{148}\text{Sm}(\text{n}, 2\text{n})^{147}\text{Sm}$ ($1.06 \cdot 10^{11}$ y)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, 3\text{n})^{146}\text{Sm}$ ($1.06 \cdot 10^8$ y)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{p})^{148\text{m}}\text{Pm}$ (41.3 d), $^{148\text{g}}\text{Pm}$ (5.37 d)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{d})^{147}\text{Pm}$ (2.67 y)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{t})^{146}\text{Pm}$ (5.5 y)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{n p})^{147}\text{Pm}$ (2.67 y)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{n d})^{146}\text{Pm}$ (5.5 y)
 $^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{n t})^{145}\text{Pm}$ (17.7 y)

$^{149}\text{Sm}(\text{n}, 2\text{n})^{148}\text{Sm}$ ($8 \cdot 10^{15}$ y)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{p})^{149}\text{Pm}$ (2.21 d)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{d})^{148}\text{Pm}$ (41.3 d), $^{148\text{g}}\text{Pm}$ (5.37 d)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{t})^{147}\text{Pm}$ (2.67 y)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{n p})^{148\text{m}}\text{Pm}$ (41.3 d), $^{148\text{g}}\text{Pm}$ (5.37 d)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{n d})^{147}\text{Pm}$ (2.67 y)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{n t})^{146}\text{Pm}$ (5.5 y)
 $^{149}\text{Sm}(\text{n}, ^3\text{He})^{147}\text{Nd}$ (11.0 d)

$^{150}\text{Sm}(\text{n}, \tau)^{151}\text{Sm}$ (90 y)
 $^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{p})^{150}\text{Pm}$ (2.68 h)
 $^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{t})^{148\text{m}}\text{Pm}$ (41.3 d), $^{148\text{g}}\text{Pm}$ (5.37 d)
 $^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{n p})^{149}\text{Pm}$ (2.21 d)
 $^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{n d})^{148\text{m}}\text{Pm}$ (41.3 d), $^{148\text{g}}\text{Pm}$ (5.37 d)
 $^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{n t})^{147}\text{Pm}$ (2.67 y)
 $^{150}\text{Sm}(\text{n}, \alpha)^{147}\text{Nd}$ (10.98 d)

$^{152}\text{Sm}(\text{n}, \tau)^{153}\text{Sm}$ (1.95 d)
 $^{152}\text{Sm}(\text{n}, 2\text{n})^{151}\text{Sm}$ (90 y)
 $^{152}\text{Sm}(\text{n}, \text{p})^{152}\text{Pm}$ (15 m, 7.5 m, 4.1 m)
 $^{152}\text{Sm}(\text{n}, \text{d})^{151}\text{Pm}$ (1.18 d)
 $^{152}\text{Sm}(\text{n}, \text{n p})^{151}\text{Pm}$ (1.18 d)
 $^{154}\text{Sm}(\text{n}, \text{n t})^{149}\text{Pm}$ (2.21 d)

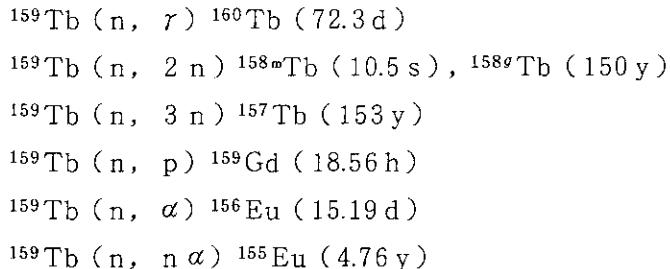


これら核反応にはいくつかの核異性体生成反応が含まれているが、3.2.2項で述べたのと同じ理由で、それらは唯一の例外を除きすべて基底状態の放射化のみを取り扱うこととした。そして断面積データは、JENDL-3のFPファイルのものを採った。なお、 ${}^{148}\text{Sm}(\text{n}, 2\text{p}) {}^{147}\text{Nd}$ (11.0 d) の反応断面積は、JENDL-3で扱っていないので除外した。

唯一の例外は、 ${}^{148m}\text{Pm}$ (41.3 d) 及び ${}^{148g}\text{Pm}$ (5.37 d) を生成する反応である。そのうち ${}^{148}\text{Sm}(\text{n}, \text{p})$ 反応については、14MeV近傍での核異性状態及び基底状態生成断面積の実験データが若干あるので、それを用いて評価を行った。Prasad³⁶⁾, Weigel³⁷⁾ 及びQaim³⁸⁾ の3者の断面積データはバラついているが、核異性体生成比はほぼ一致しているのでそれらの平均値を用い、JENDL-3の全(n, p)断面積に乗じて放射化断面積を算出した。その結果をFig. 3.45に示した。同じ核異性状態を生成する反応に、 ${}^{149}\text{Sm}(\text{n}, \text{d})$, ${}^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{t})$, ${}^{150}\text{Sm}(\text{n}, \text{nd})$ があるが、これらは主要な反応でないので除外した。

3.2.6 ${}^{159}\text{Tb}$

対象となる放射性核種生成核反応は



である。 (n, γ) , (n, p) , (n, α) 反応断面積は、JENDL-3のFPファイルのデータを採用した。 ${}^{159}\text{Tb}(\text{n}, 2\text{n}) {}^{158m}\text{Tb} (10.5\text{s})$, ${}^{158g}\text{Tb} (150\text{y})$ の断面積については、核異性状態生成比をEGNASHコードによる理論計算で求め、JENDL-3の(n, 2n)反応断面積を用いて核異性体生成断面積を評価した。

${}^{159}\text{Tb}(\text{n}, 2\text{n}) {}^{158m}\text{Tb} (10.5\text{s})$, ${}^{158g}\text{Tb} (150\text{y})$ の断面積の評価値と実験値との比較をFig. 3.46に示した。計算値は実験データと比較してやや低めであるが、実験値間にも可成りのバラつきがあって判定は困難である。評価値、実験値ともに検討の必要があると思われる。

3.2.7 Hf

Hfには、質量数174, 176, 177, 178, 179, 180の6つの安定同位体がある。これらを標的と

した中性子核反応で放射性核種を生成する反応のうちで、2次放出粒子がガンマ線、中性子、陽子、 α -粒子であるもののみを扱うことになると、次の核反応が対象となる。

- * $^{174}\text{Hf} (\text{n}, \gamma) ^{175}\text{Hf}$ (70 d)
- * $^{174}\text{Hf} (\text{n}, 2\text{n}) ^{173}\text{Hf}$ (24 h)
- * $^{174}\text{Hf} (\text{n}, 3\text{n}) ^{172}\text{Hf}$ (1.87 y)
- $^{174}\text{Hf} (\text{n}, \text{p}) ^{174m}\text{Lu}$ (142 d), ^{174g}Lu ($3.6 \cdot 10^{10}$ y)
- $^{174}\text{Hf} (\text{n}, \text{n p}) ^{173}\text{Lu}$ (1.37 y)

- $^{176}\text{Hf} (\text{n}, \gamma) ^{177m2}\text{Hf}$ (51.4 m), $^{177g1}\text{Hf}$ (1.08 s)
- * $^{176}\text{Hf} (\text{n}, 2\text{n}) ^{175}\text{Hf}$ (70 d)
- * $^{176}\text{Hf} (\text{n}, 3\text{n}) ^{174}\text{Hf}$ ($2.0 \cdot 10^{15}$ y)
- $^{176}\text{Hf} (\text{n}, \text{p}) ^{176m}\text{Lu}$ (3.68 h), ^{176g}Lu ($3.6 \cdot 10^{10}$ y)

- $^{177}\text{Hf} (\text{n}, \text{n}') ^{177m2}\text{Hf}$ (51.4 m), $^{177g1}\text{Hf}$ (1.08 s)
- $^{177}\text{Hf} (\text{n}, \gamma) ^{178m2}\text{Hf}$ (31 y), $^{178g1}\text{Hf}$ (4.3 s)
- * $^{177}\text{Hf} (\text{n}, 3\text{n}) ^{175}\text{Hf}$ (70 d)
- $^{177}\text{Hf} (\text{n}, \text{p}) ^{177m}\text{Lu}$ (160.1 d), ^{177g}Lu (6.7 d)

- $^{178}\text{Hf} (\text{n}, \text{n}') ^{178m2}\text{Hf}$ (31 y), $^{178g1}\text{Hf}$ (4.3 s)
- $^{178}\text{Hf} (\text{n}, \gamma) ^{179m2}\text{Hf}$ (24.8 d), $^{179g1}\text{Hf}$ (18.77 s)
- $^{178}\text{Hf} (\text{n}, 2\text{n}) ^{177m2}\text{Hf}$ (51.4 m), $^{177g1}\text{Hf}$ (1.08 s)
- $^{178}\text{Hf} (\text{n}, \text{p}) ^{178m}\text{Lu}$ (22.7 m), ^{178g}Lu (28.4 m)
- $^{178}\text{Hf} (\text{n}, \text{n p}) ^{177m}\text{Lu}$ (160.1 d), ^{177g}Lu (6.7 d)
- * $^{178}\text{Hf} (\text{n}, \alpha) ^{175}\text{Yb}$ (4.19 d)

- $^{179}\text{Hf} (\text{n}, \text{n}') ^{179m2}\text{Hf}$ (24.8 d), $^{179g1}\text{Hf}$ (18.77 s)
- $^{179}\text{Hf} (\text{n}, \gamma) ^{180m}\text{Hf}$ (5.5 h)
- $^{179}\text{Hf} (\text{n}, 2\text{n}) ^{178m2}\text{Hf}$ (31 y), $^{178g1}\text{Hf}$ (4.3 s)
- $^{179}\text{Hf} (\text{n}, 3\text{n}) ^{177m2}\text{Hf}$ (51.4 m), $^{177g1}\text{Hf}$ (1.08 s)
- * $^{179}\text{Hf} (\text{n}, \text{p}) ^{179}\text{Lu}$ (4.59 h)
- $^{179}\text{Hf} (\text{n}, \text{n p}) ^{178m}\text{Lu}$ (22.7 m), ^{178g}Lu (28.4 m)
- $^{179}\text{Hf} (\text{n}, \alpha) ^{176m}\text{Yb}$ (11.7 s)

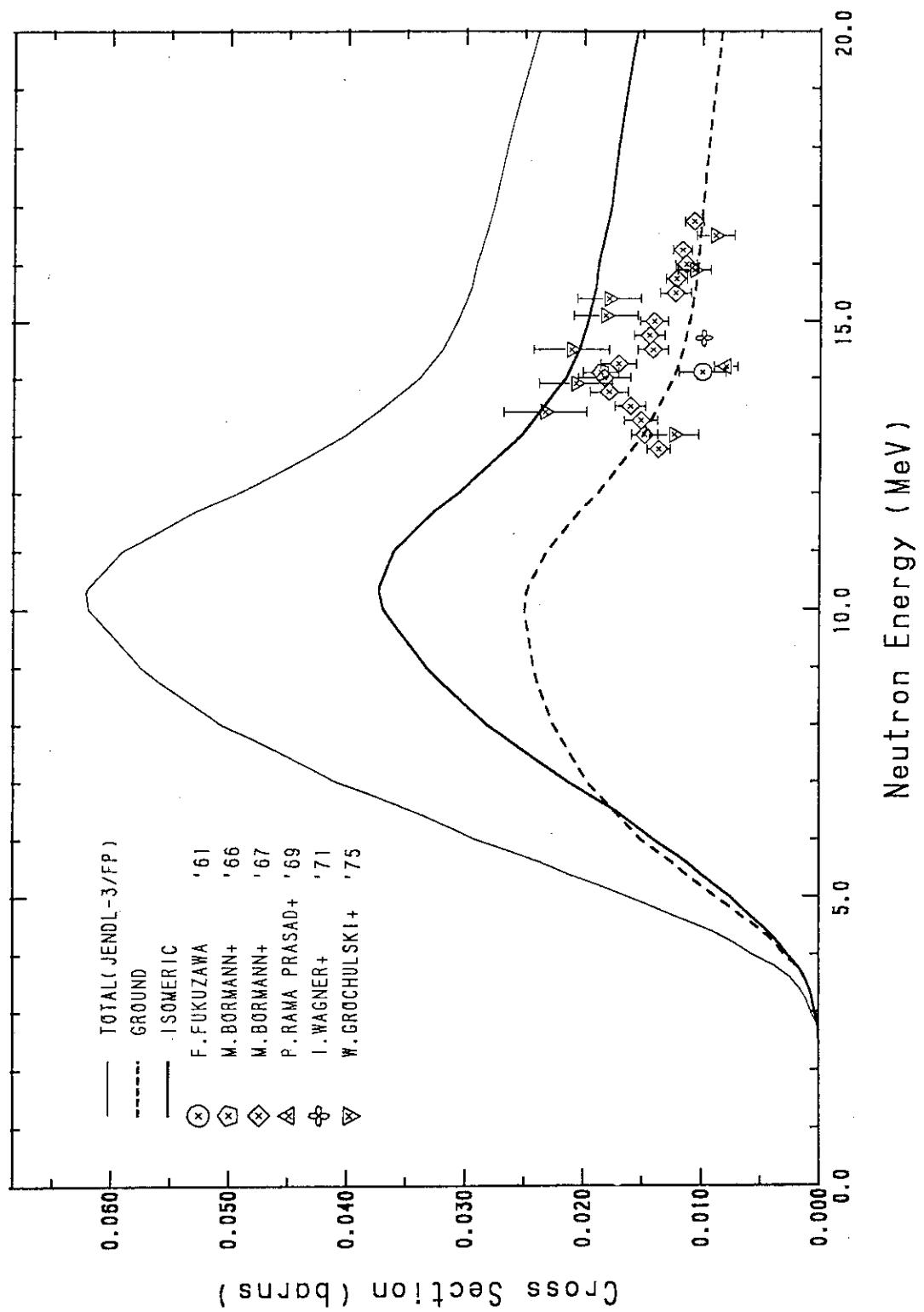
- $^{180}\text{Hf} (\text{n}, \text{n}') ^{180m}\text{Hf}$ (5.5 h)
- * $^{180}\text{Hf} (\text{n}, \gamma) ^{181}\text{Hf}$ (42.4 d)
- $^{180}\text{Hf} (\text{n}, 2\text{n}) ^{179m2}\text{Hf}$ (24.8 d), $^{179g1}\text{Hf}$ (18.77 s)
- $^{180}\text{Hf} (\text{n}, 3\text{n}) ^{178m2}\text{Hf}$ (31 y), $^{178g1}\text{Hf}$ (4.3 s)

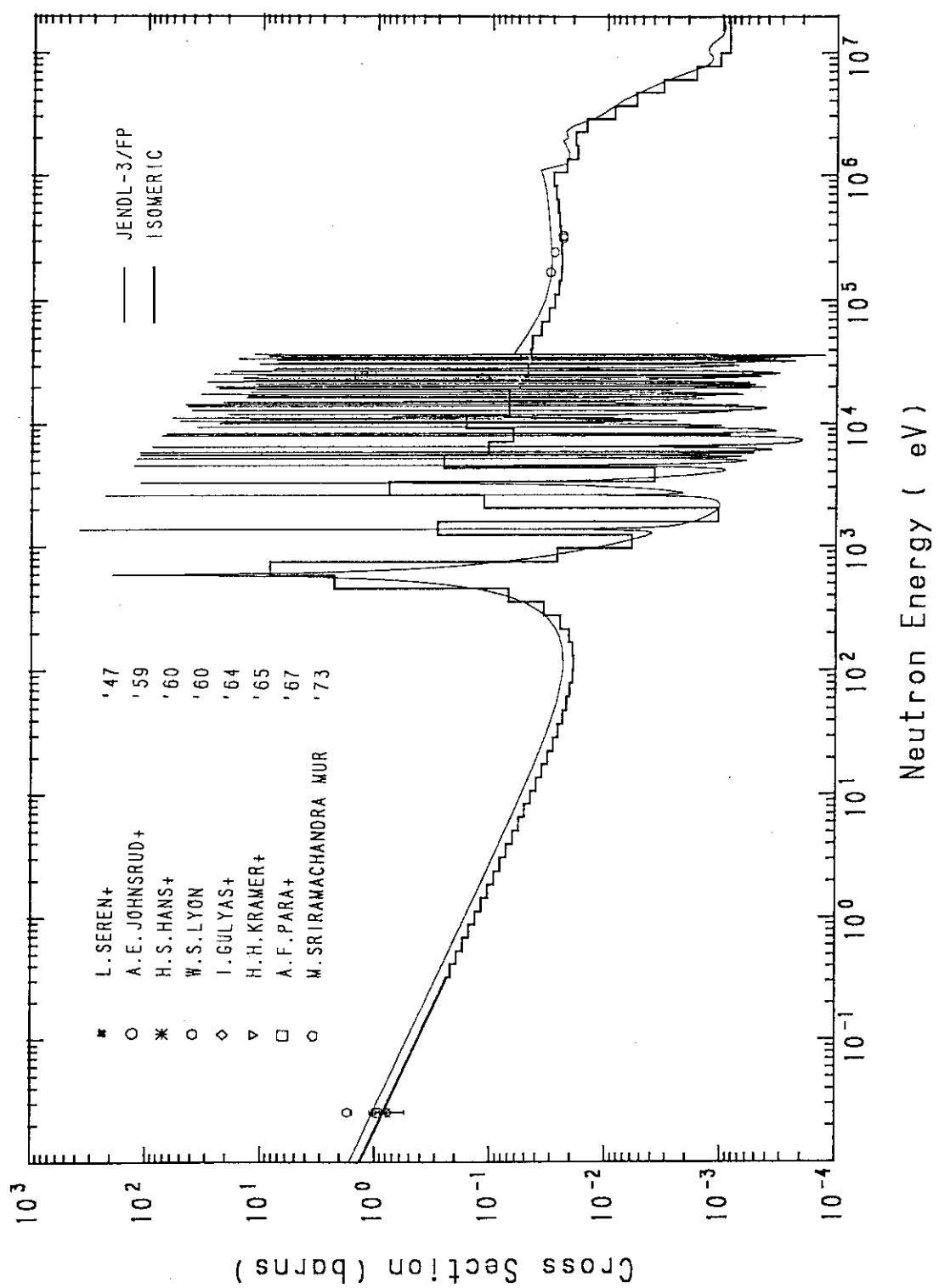
- * ^{180}Hf (n, p) ^{180}Lu (5.7 m)
- ^{180}Hf (n, α) ^{177}Yb (6.4 s), ^{177}Yb (1.9 h)

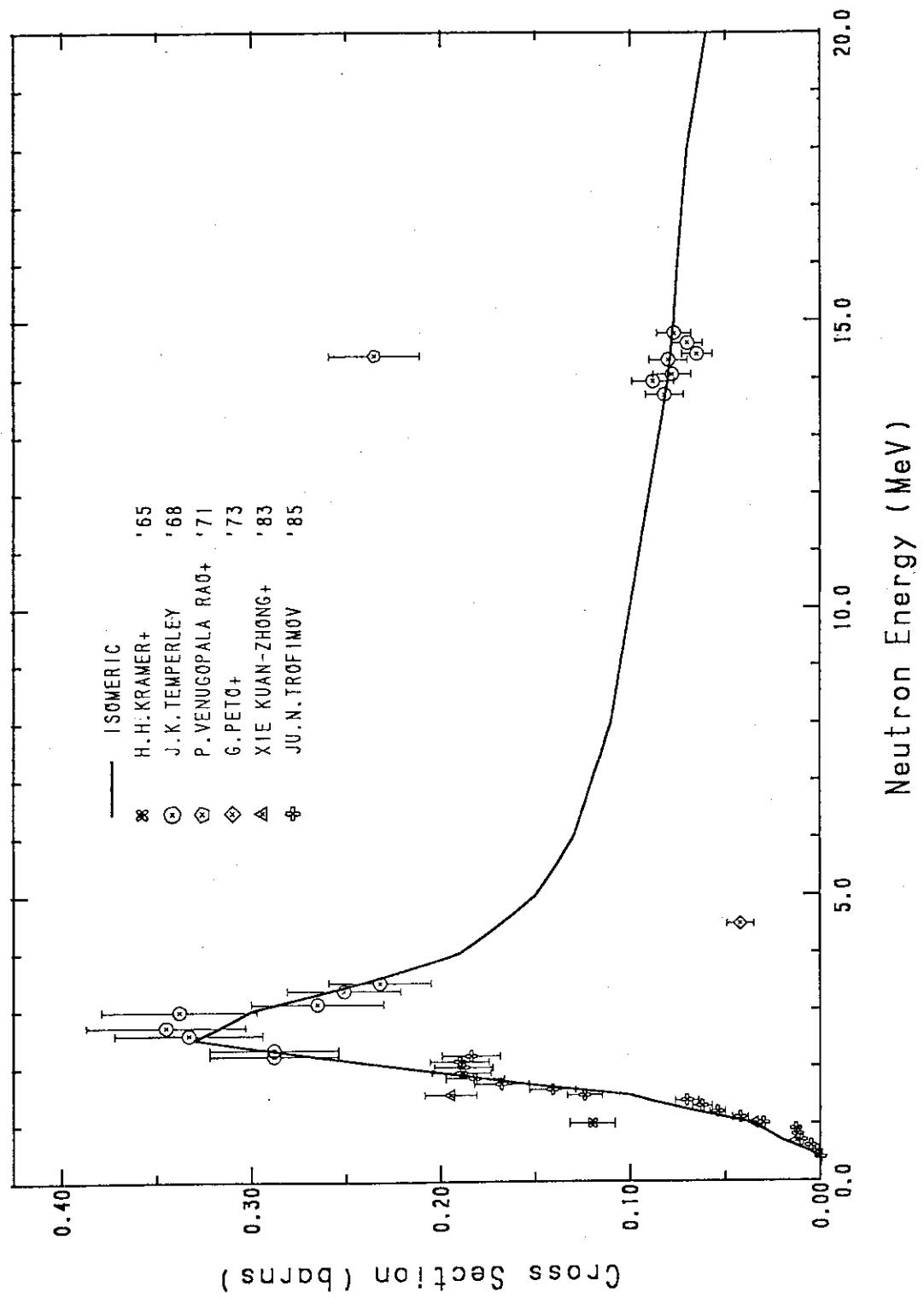
これら核反応の断面積データは、JENDL-3の汎用ファイルに収納されているので、それらのデータを採用することとした。本作業では、核異性体生成の断面積の評価のみを行った。本作業は、JENDL-3のデータとconsistentになることに留意したために、データ評価の方法も同じGNASHコードを用い、JENDL-3の評価計算に使用した光学模型及びエネルギー準位密度のパラメータも全く同一のものを用いた。但し、核異性体生成断面積の計算のためにエネルギー準位データには、最新のENSDFファイルのものを用い、可能な限り励起エネルギーの高いところまでのデータを使用した。しかし、Hfの残留核の多くは、2種類の核異性体を持つ上にそのエネルギー準位が1 MeVから3 MeV近くと非常に高く、レベル・スキームが判明しているのは、そのエネルギー準位よりもかなり低いところまでであって、そのような原子核については核異性体の生成率を理論計算から求めることができなかった。ちなみに、 $^{177\text{m}2}\text{Hf}$ (51.4 m, 37/2+) のエネルギー準位は 2.7400 MeV, $^{178\text{m}2}\text{Hf}$ (31 y, 16+) は 2.4474 MeV, $^{179\text{m}2}\text{Hf}$ (24.8 d, 25/2-) は 1.1057 MeV, $^{180\text{m}}\text{Hf}$ (5.5 h, 8-) は 1.1416 MeVである。最近 Chadwick ら³⁹⁾が ^{178}Hf の仮想エネルギー準位を導入して ^{178}Hf を生成する ^{179}Hf (n, 2n), ^{178}Hf (n, n')反応等の断面積データの理論計算を試みたが、実験値との一致は必ずしも良くない。

このように上記の核異性体を生成する核反応の断面積データを理論計算から求めるには、解決すべき多くの問題がある。このために、生成断面積の実験データがあるものについては、そのエネルギー点でのJENDL-3の全生成断面積データと組み合わせて生成比を出し、それにエネルギー依存性がないとして核異性体生成の断面積データを作った。なお、(n, r)反応断面積データは0.3 eV以上を70群に縮約してある。 ^{177}Hf と ^{178}Hf の(n, r)反応についての結果をFig. 3.47及びFig. 3.48に示す。

上記の核反応で*印を付したものは、断面積データをJENDL-3の汎用ファイルから採ったもの、○印のものは本作業で核異性状態生成比を評価しJENDL-3の断面積データと組み合わせて放射化断面積データを作成したものである。無印のものは、上に述べた理由から本作業では評価できなかった。

Fig. 3.35 $^{75}\text{As}(\text{n},\text{p})^{75}\text{Ge}$ Production Cross Sections

Fig. 3.36 $^{86}\text{Sr}(n,\gamma)^{87}\text{Sr}$ Production Cross Sections

Fig. 3.37 $^{87}\text{Sr}(n, n')$ ^{87}mSr Production Cross Sections

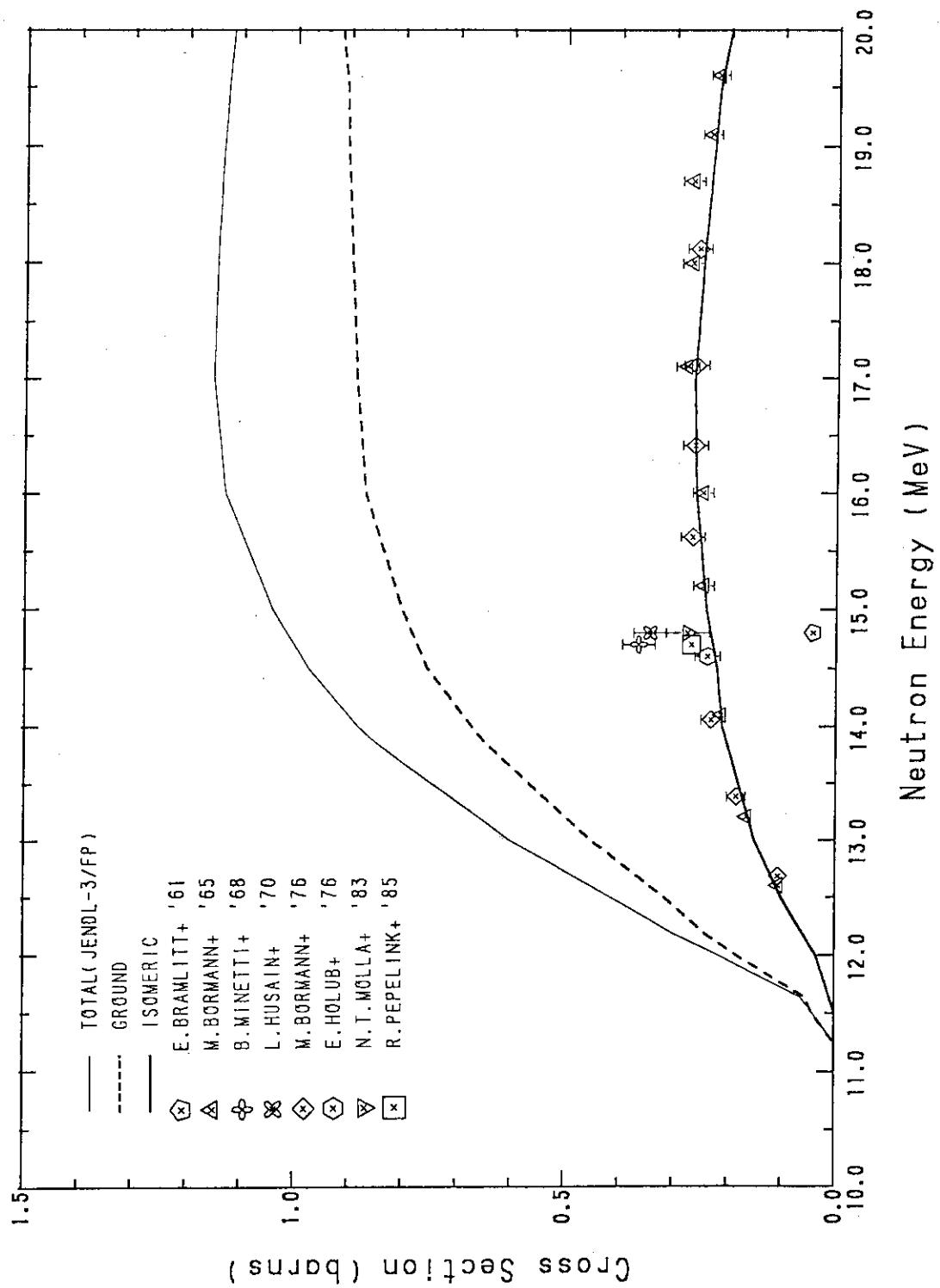
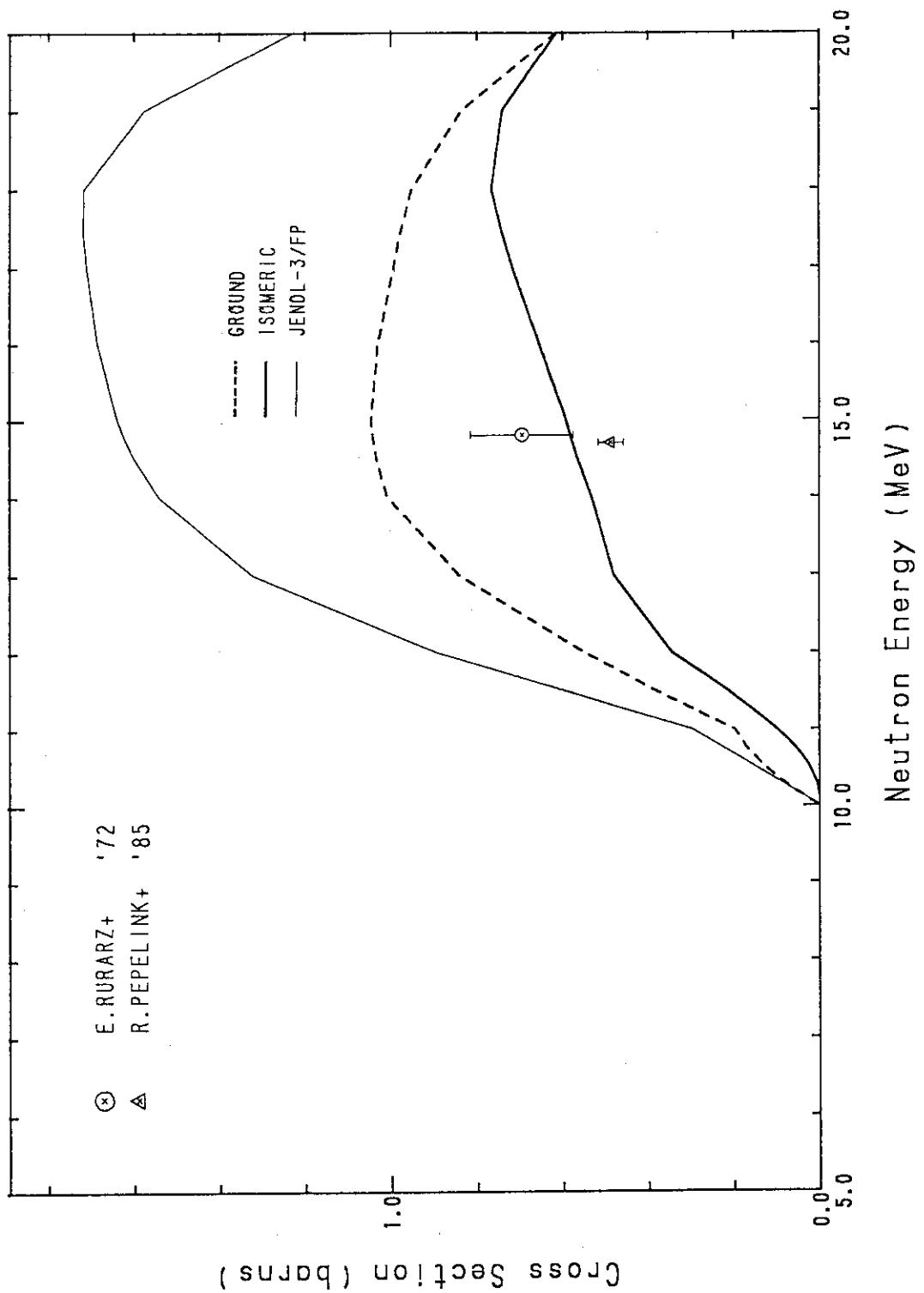
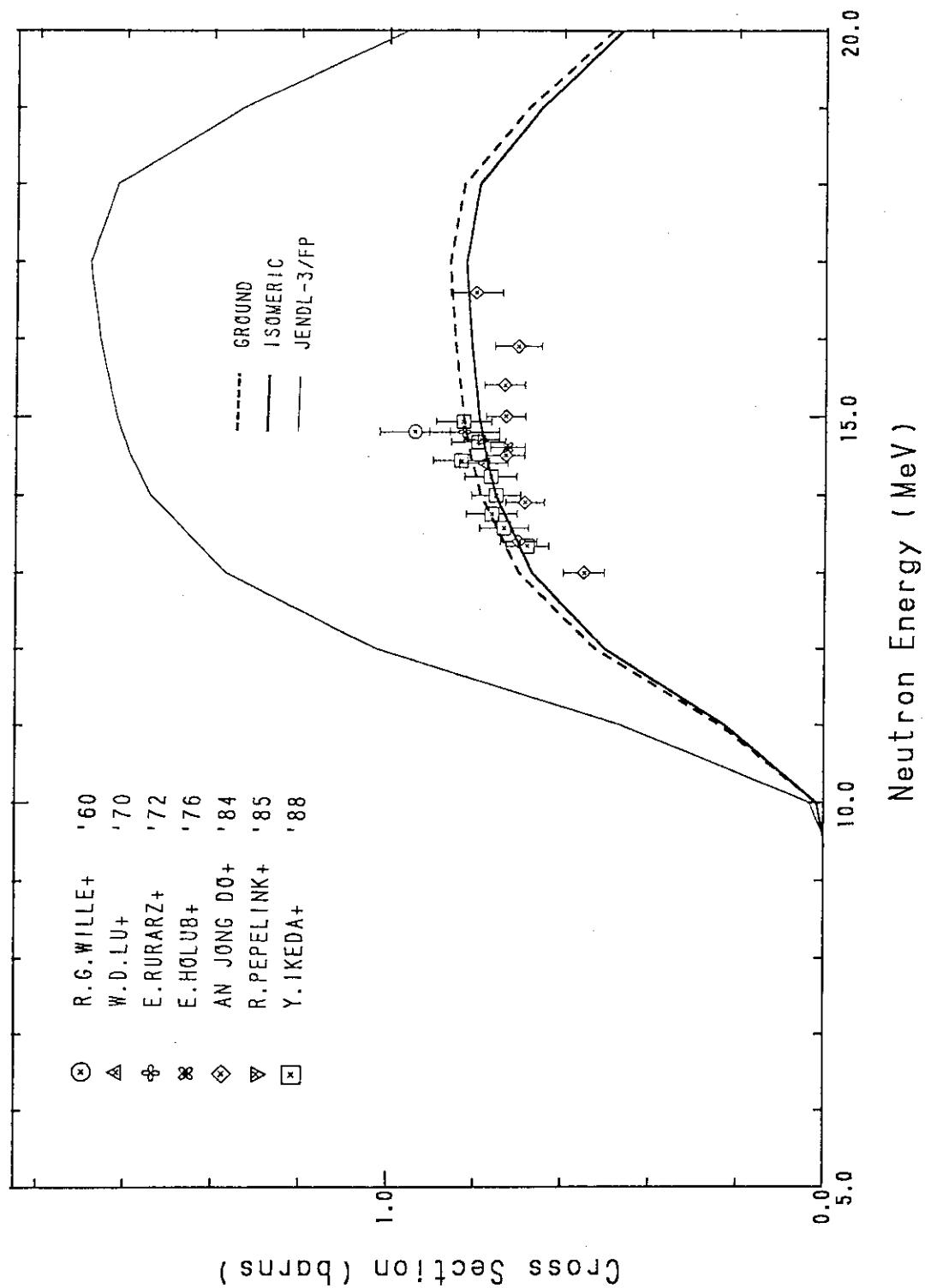
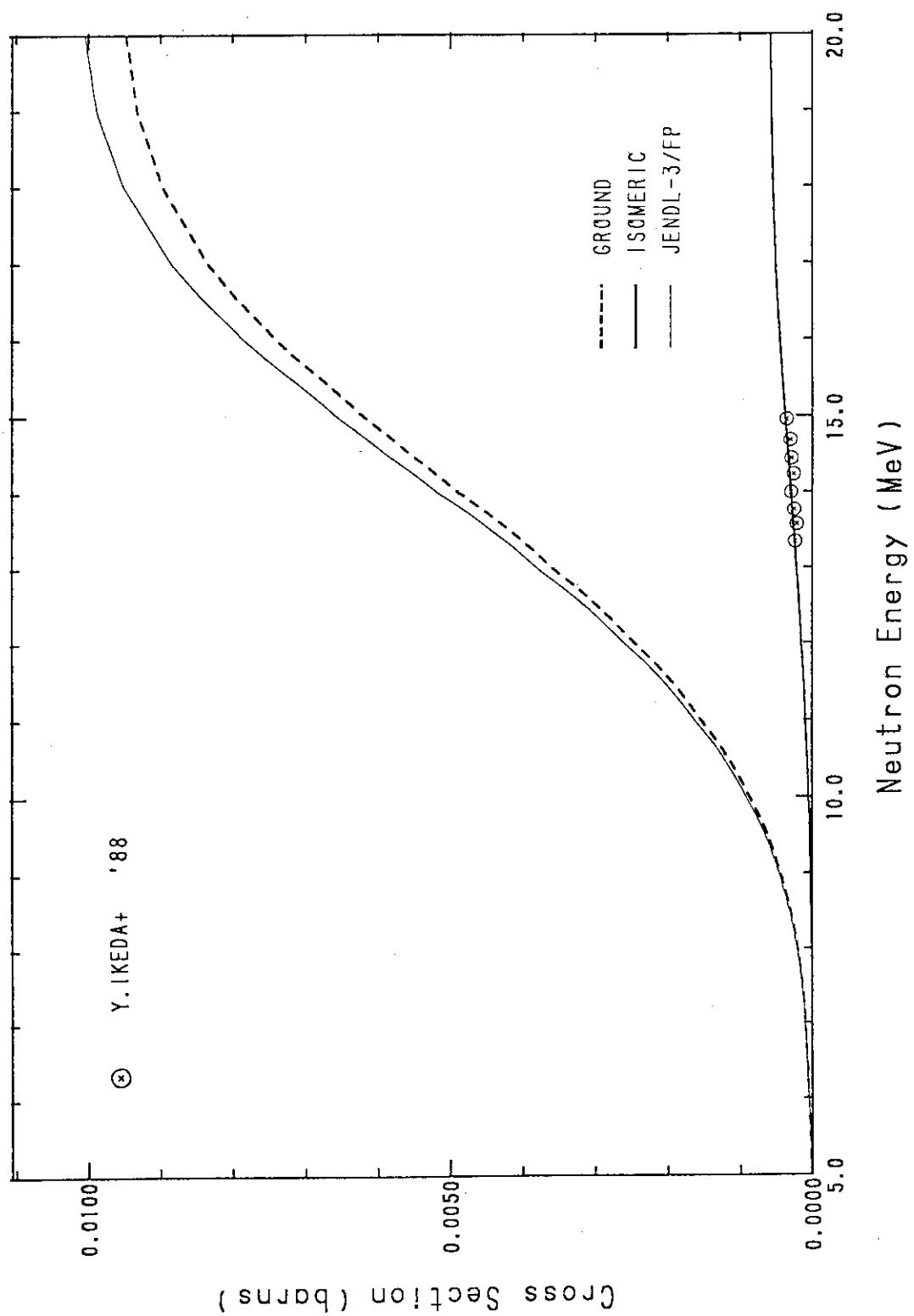
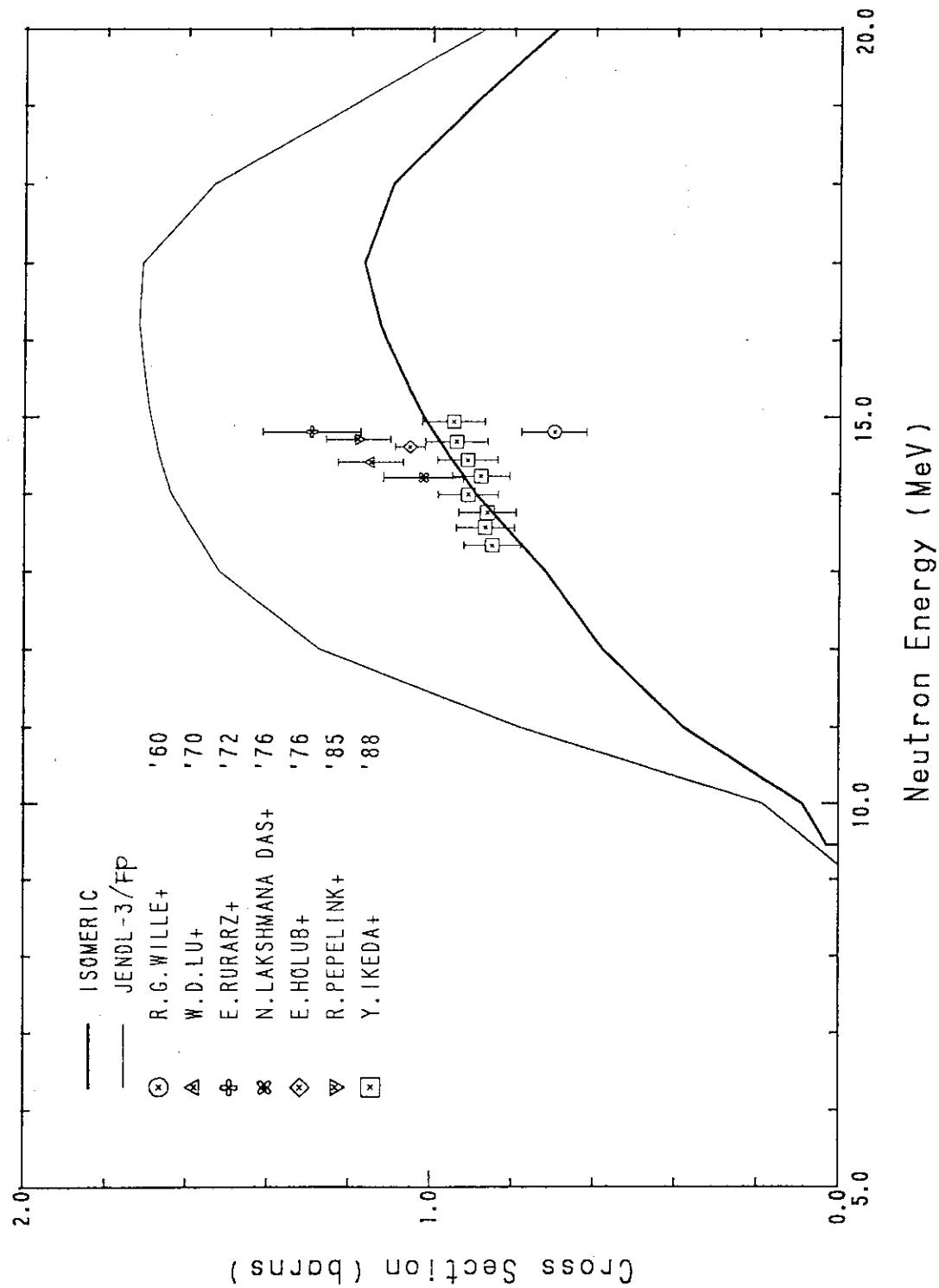


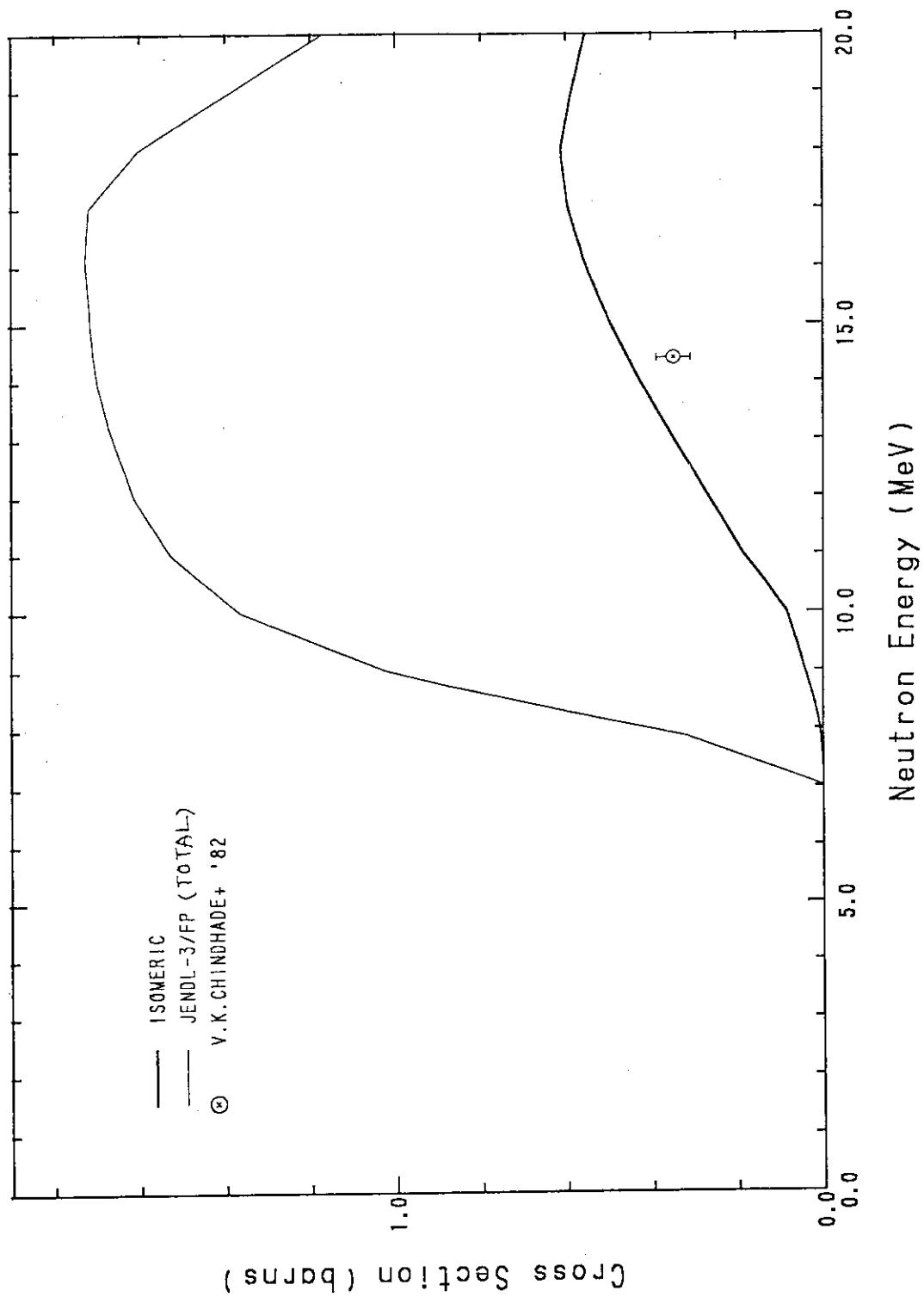
Fig. 3.38 $^{88}\text{Sr}(n,2n)^{88}\text{Sr}$ Production Cross Sections

Fig. 3.39 $^{132}\text{Ba}(n,2n)^{131}\text{Ba}$ Production Cross Sections

Fig. 3.40 $^{134}\text{Ba}(n,2n)^{133}\text{Ba}$ Production Cross Sections

Fig. 3.41 $^{135}\text{Ba}(\text{n},\text{p})^{135}\text{Cs}$ Production Cross Sections

Fig. 3.42 $^{136}\text{Ba}(n,2n)^{135}\text{Ba}$ Production Cross Sections

Fig. 3.43 $^{137}\text{Ba}(n,2n)^{136}\text{Ba}$ Production Cross Sections

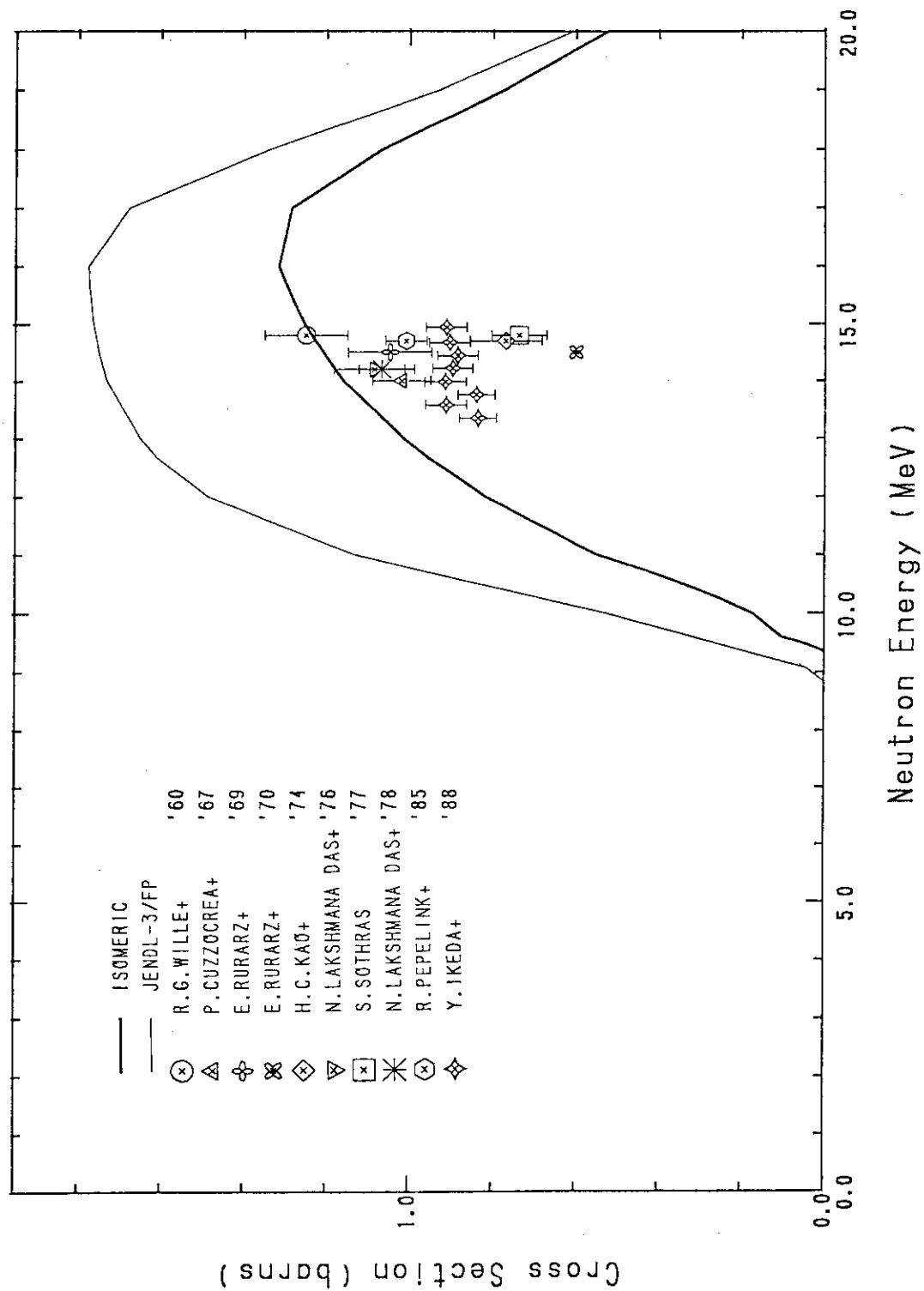


Fig. 3.44 $^{138}\text{Ba}(n,2n)^{137}\text{Ba}$ Production Cross Sections

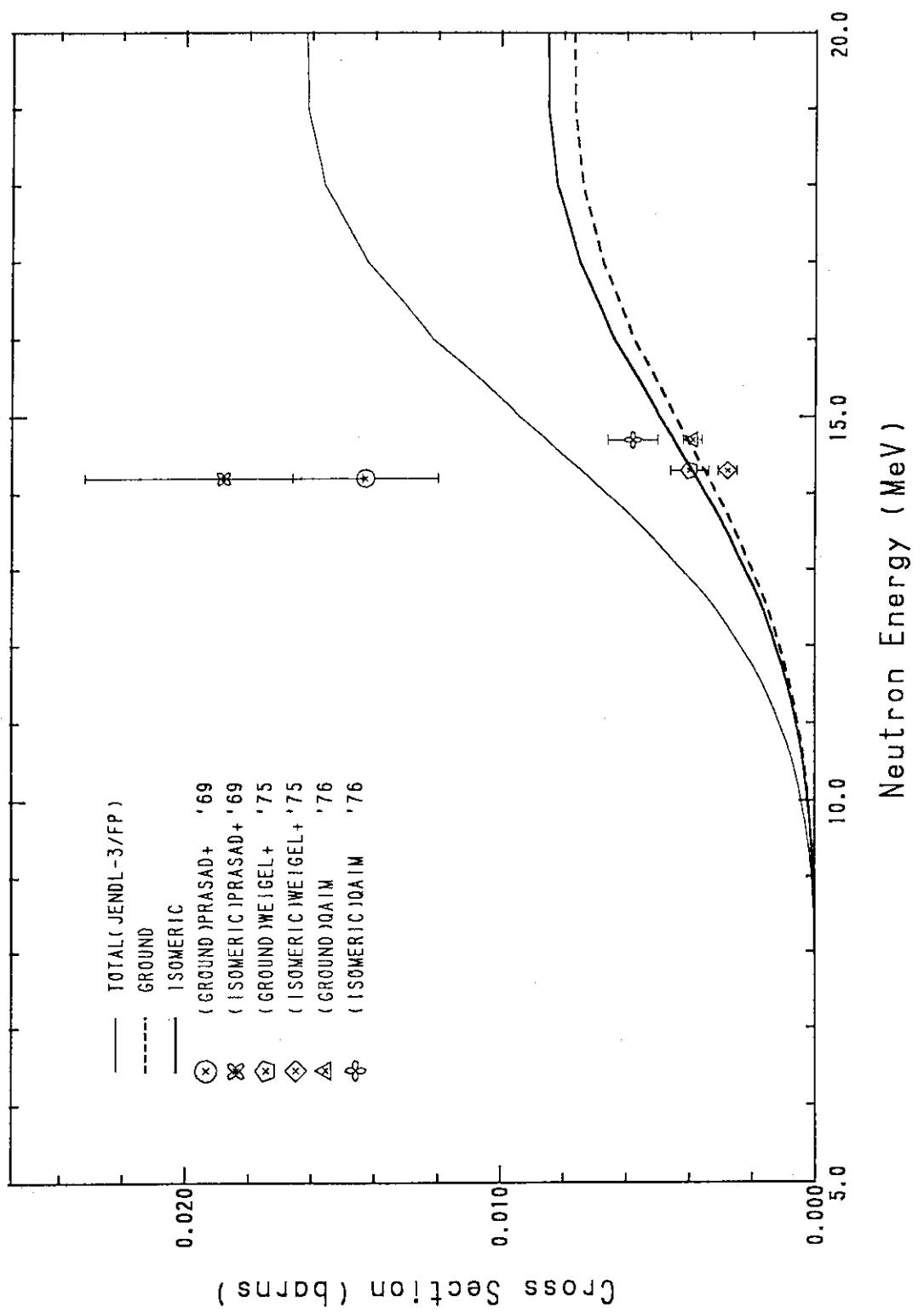
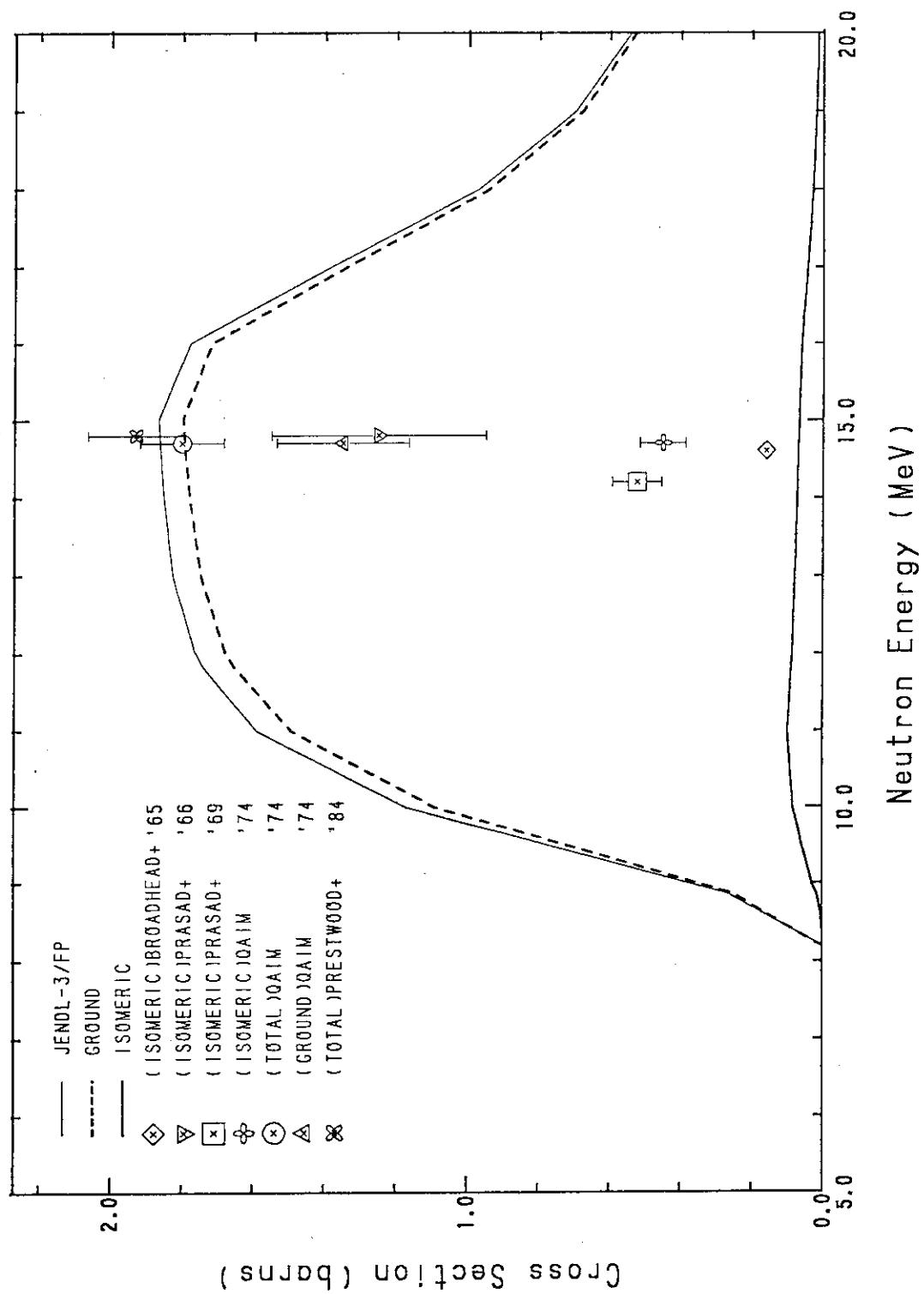


Fig. 3.45 $^{148}\text{Sm}(n,p)^{148}\text{Pm}$ Production Cross Sections

Fig. 3.46 $^{159}\text{Tb}(n,2n)^{158}\text{Tb}$ Production Cross Sections

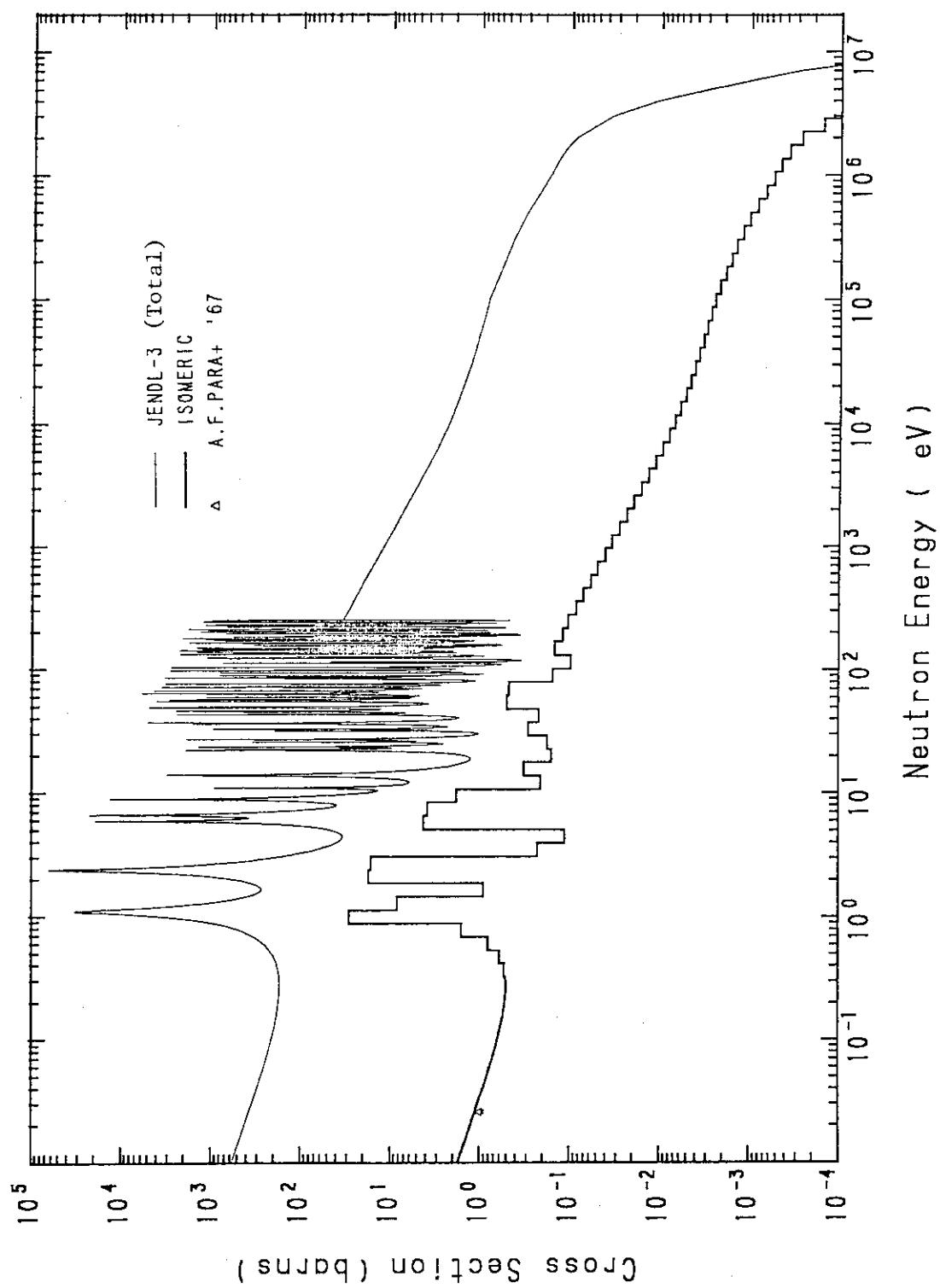
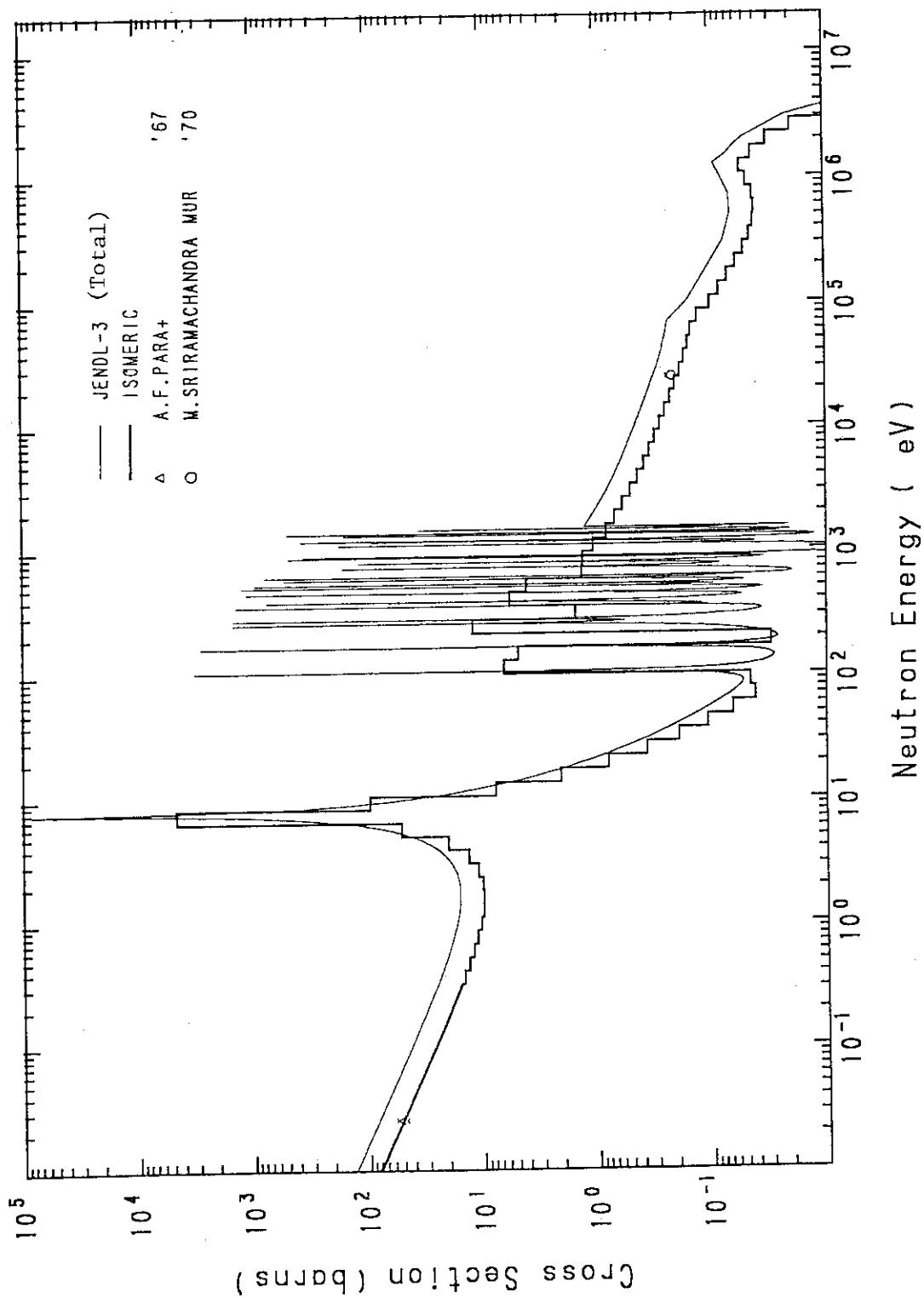


Fig. 3.47 $^{177}\text{Hf}(n,\gamma)^{178}\text{Hf}$ Production Cross Sections

Fig. 3.48 $^{178}\text{Hf}(n,\gamma)^{179}\text{Hf}$ Production Cross Sections

4. 計算に用いた J C L とファイル化

多くの核異性体を含む放射化断面積は、すでに述べたように S INCROS-II¹⁾によって計算が実行された。しかし、昨年同様 JENDL-3²⁾を基本としてまとめたものもある。従って、得られた結果をファイルに収容する場合にもそれぞれ異なる過程がとられた。

本章では、S INCROS-IIに含まれる EGNASH2 コードで断面積の計算を実行する際の、JCL 及び入力と出力データの例を 4.1 節に示す。これは昨年度に報告したものとほとんど同じである。今年度実行されたものを含め、多くの核種の入力データは

ファイル 'J 2608. YAMAMURO. CNTL'

の中に格納されている。

次に放射化断面積を ENDF / B 形式で格納する場合、ファイル 8, 9, 及び 10 の形式に従うこととは昨年の報告書で述べてある。本年度は EGNASH2 の出力を中心とし、(n, r) 断面積については共鳴パラメータを処理したものを含めて、ファイル 10 をまとめる新しいデータ処理システムが開発され、S INCROS-II に組み込まれた。そこでこの新しい処理システムについて 4.2 節で詳述する。

4.1 計算に用いた JCL と入力及び出力データの例

昨年に引き続き、S INCROS-II はいくつかの点で改良が進められた。すでに約 50 核種の計算が行われていたが、本年度はさらにその数が増した。3.1 節で結果が検討されている 7 つの元素のほとんどすべての同位体について計算が実行されたので、約 30 核種の結果が追加され、全体で 80 核種に及んでいる。

EGNASH2 の JCL を Table 4.1 に示す。これは昨年同様であるが、質量数領域によつていくつかのバリエーションが作られている。Table 4.2 に示す入力形式も昨年同様である。

本年度 EGNASH2 には比較的簡単な反応幅変動補正法が取り入れられ、非弾性散乱断面積の計算に改善が見られた。そこで出力に標的核の低エネルギー準位へ行く非弾性散乱断面積の表示が追加された。従って、Table 4.3 に示すように、従来の反応断面積、基底状態生成断面積、核異性体生成断面積に加えて準位非弾性散乱断面積が表示されている。

4.2 放射化断面積のファイル化

EGNASH2 などによる放射化断面積の結果がえられても、これを一定のファイル形式で格納保存する必要があるのは言うまでもない。従来の核データ汎用ライブラリーでは、断面積はファイル 3 に収納されている。しかし、ファイル 3 では一部の反応を除き、核異性体生成断面積が格納できない。そこでファイル 10 形式が推奨されている。

ファイル 10 の作成は、もちろん大型計算機で可能であるが近年広く普及しているパーソナルコ

コンピューター（PC）で処理できるプログラムを開発することは有用なことである。昨年すでに (n, γ) 反応を除けば、EGNASH2の出力からファイル10を作成するコード“XTOB10”を開発してデータ処理に利用してきた。しかし、共鳴領域を含む (n, γ) 反応については、その処理能力は不十分であった。

対象とする核種の数が増すのに伴い、断面積の計算結果と (n, γ) 反応も含めて、できる限り簡便にファイル10が作れることが望ましい。そのため本年度では、Fig. 4.1に示すようないくつかの処理コードの組合せによるENDF/Bファイル10作成プログラムを開発した。以下にこのシステムの利用法を述べる。

EGNASH2では、2種類の断面積計算が実施される。一つは従来どおり、100keVから20MeVまでを約25点のエネルギー点を選んで計算する。この時核崩壊に関する原子核の数NIは10個まで許される。ところで、 (n, γ) 反応及び低エネルギー準位非弾性散乱は、入射中性子エネルギーの低い所が重要なので、別に1keVから始め、低エネルギーに多くのエネルギー点を選んだ別の計算を実行する。この場合、初めの複合核及び標的核の崩壊のみを扱えば良いから、NI = 6程度で良い。

前者の計算結果NXと後者の計算結果GXは、独立にコード“XTOB”で処理され、それぞれENDF/B形式のデータBNX及びBGXがつくられる。“XTOB”は、昨年度用いた“XTOB10”とほとんど同じものである。BNXには、 (n, γ) 反応とすべてのしきい反応のデータが含まれ、BGXには、低エネルギーでの (n, γ) 反応の計算結果が入っている。ところで (n, γ) 反応には熱中性子領域及び共鳴領域でのデータが必要であるが、これはBGXには含まれない。そこでFig. 4.1に示したように、JENDL-3又は新たに作成した共鳴パラメータをコード“RESEND”⁴⁰⁾で処理して数値データNUMとし、この中から (n, γ) 反応のみを“CRECTJ”コード⁴¹⁾で、70群平均断面積にまとめたA70データを作成しておく。

新たに開発されたコード“CROSCOM”は、以上のデータBNX、BGX及びA70をまとめてENDF/B形式ファイル10を作成するものである。しきい反応は、BNXからそのままファイル10であるF10に格納されるが、 (n, γ) 反応の場合は熱中性子及び共鳴領域データであるA70と、それ以上のエネルギー領域である連続状態での (n, γ) データをどのエネルギーで結合するかを決める必要がある。そのため予め両者を“WING”コード⁴²⁾上に作図して結合すべきエネルギーを定め、これを“CROSCOM”に入力する。これで結合するエネルギー以下はA70から、それ以上はBGXからデータが取られ編集されてF10に収納される。この際 (n, γ) 反応によって核異性体が作られる場合には、BGXに含まれている基底状態及び核異性体生成断面積から比が求められ、これを用いてそれぞれの断面積が区別されてF10に送られる。但し、核異性体生成比は熱中性子領域から1keV中性子まで同じ値になると仮定している。もし (n, γ) 反応断面積にCASTHY2Yコード⁴²⁾からの出力を利用したい場合も“CROSCOM”によって可能である。

ENDF/Bファイルに格納されたデータを実験データなどと比較したい場合は、“F10FIG”コードで処理したものを“WING”に入力して作図し、同時に実験結果もプロットして比較できる。なお、別途企画されている核融合炉の核変換、放射化、崩壊熱計算システムTHIDA-2⁴³⁾に用いる放射化断面積ライブラリーCROSSLIBの整備に使われる42群定数も、ファイル10からコー

ド”F10TH1”を用いて作成が可能になったことも、Fig. 4.1で示される。

以上ENDF / B ファイル10及びCROSSLIB作成がPC-9801で可能になったことは、多量のデータ処理の必要な核異性体生成を含む放射化断面積ファイルを完成する上で多くの寄与があると思われる。コード“CROSCOM”的内容をTable 4.4に示しておく。

Table 4.1 JCL for EGNASH2

```

-INC JUSER7096,SEQ=100:400
T.5 I.4 C.5 W.3 SRP
-INC JUSER7096,SEQ=500:500
//*EXEC FORT77,SO=J2608.SINCROS,A='ELM(EGNASH2),NUM,NOPRINT',
//*
B='AUTODBL(DBLPAD)'
//*EXEC LKED77
//*EXEC GO
// EXEC LMGO,LM=J7096.EGNASH2
//FT02F001 DD DSN=&&FT02,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//FT09F001 DD DSN=&&FT09,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//*FT10F001 DD DSN=&&FT10,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//FT10F001 DD DSN=J7096.RE187NS1.DATA,UNIT=TSSWK,
//           DISP=(NEW,CATLG,CATLG),SPACE=(TRK,(10,5),RLSE),
//           DCB=(DSORG=PS,LRECL=132,BLKSIZE=11484,RECFM=FB)
//FT11F001 DD DSN=&&FT11,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//*FT12F001 DD DSN=&&FT12,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//FT12F001 DD DSN=J7096.RE187NX1.DATA,UNIT=TSSWK,
//           DISP=(NEW,CATLG,CATLG),SPACE=(TRK,(10,5),RLSE),
//           DCB=(DSORG=PS,LRECL=132,BLKSIZE=11484,RECFM=FB)
//FT13F001 DD DSN=J2608.GNASHLIB.DATA,DISP=SHR,LABEL=(,,,IN)
//FT14F001 DD DSN=&&FT14,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//*FT14F001 DD DSN=J7096.RE187CA1.DATA,UNIT=TSSWK,
//*
DISP=(NEW,CATLG,CATLG),SPACE=(TRK,(10,5),RLSE),
//*
DCB=(DSORG=PS,LRECL=80,BLKSIZE=11440,RECFM=FB)
// EXPAND DISK,DDN=FT27F001
// EXPAND DISK,DDN=FT28F001,SPC='100,20'
//FT08F001 DD DSN=J2608.SINCROS.FORT77(GLVL3),DISP=SHR,LABEL=(,,,IN)
//FT33F001 DD DSN=J2608.YAMAMURO.DIR2(RE187DIR),DISP=SHR,LABEL=(,,,IN)
//FT43F001 DD DSN=&&FT43,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//FT44F001 DD DSN=&&FT44,UNIT=VIO,SPACE=(TRK,(60,10)),DCB=(DSORG=PS)
//*FT44F001 DD DSN=J7096.RE187GM1.DATA,UNIT=TSSWK,
//*
DISP=(NEW,CATLG,CATLG),SPACE=(TRK,(30,10),RLSE),
//*
DCB=(DSORG=PS,LRECL=80,BLKSIZE=11440,RECFM=FB)
//SYSIN DD *
-INC RE187N2
-INC JUSER7096,SEQ=600:700

HIGHEST SEVERITY CODE=00
STATISTICS: HIGHEST SEVERITY CODE=00

```

Table 4.2 Sample of Input Data for EGNASH2

IR193 + NEUTRON REACTION			ELIESE-GNASH JOINT PROGRAM (EGNASH2)						
			1990 02 27 N. YAMAMURO						
8	0	11	0	0	1	3	0	5	
1.		77193.		0.667		2.0		1.0	
0.45									
24									
0.1	0.2		0.5		1.0		1.5	2.0	
5.0	6.0		7.0		8.0		9.0	10.0	
13.0	14.0		15.0		16.0		17.0	18.0	
77194.	5.								
77193.	3.								
77192.	2.								
77191.	1.								
76193.	2.								
76192.	1.								
75190.	2.								
75189.	1.								
0.88	0.12								
0.									
0.									
77194	11	77193	3	77192	2	77192	7	77191	4
++									
//									

Table 4.3 Sample of Output Data for EGNASH2 (1/2)

IR193 + NEUTRON REACTION ELIESE-GNASH JOINT PROGRAM (EGNASH2)
1990 02 27 N. YAMAMURO

RE A C T I O N	C R O S S S E C T I O N S										
ENERGY(MEV)	COMPOUND	PRODUCTSUM	DIRECT	PREEQ RATE	NEUTRON	PROTON	DEUTERON	ALPHA	GAMMA	G-ABOVTHRE	
1.000+01	3.664D+03	3.664D+03	0.0	0.0	3.217D+03	0.0	0.0	0.0	6.357D+02	4.360D+02	
2.000+01	3.150D+03	3.150D+03	0.0	0.0	2.928D+03	0.0	0.0	0.0	1.153D+03	2.168D+02	
5.000+01	2.874D+03	2.873D+03	0.0	0.0	2.796D+03	0.0	0.0	3.996D-11	2.267D+03	7.639D+01	
1.000+00	2.480D+03	2.480D+03	1.303D+02	1.578D-01	2.437D+03	0.0	0.0	3.901D-09	3.535D+03	4.410D+01	
1.500+00	2.359D+03	2.359D+03	1.761D+02	3.292D-01	2.321D+03	0.0	0.0	1.507D-08	3.951D+03	1.947D+02	
2.000+00	2.400D+03	2.400D+03	2.218D+02	5.515D-01	2.351D+03	1.774D-11	0.0	9.818D-08	4.536D+03	9.610D+02	
3.000+00	2.449D+03	2.449D+03	3.038D+02	1.329D+00	2.411D+03	4.916D-08	0.0	5.460D-06	5.571D+03	1.670D+03	
4.000+00	2.508D+03	2.508D+03	3.375D+02	2.256D+00	2.479D+03	4.568D-06	0.0	1.068D-05	6.3368D+03	2.830D+03	
5.000+00	2.544D+03	2.544D+03	3.594D+02	3.423D+00	2.523D+03	1.219D-04	0.0	7.441D-05	7.204D+03	3.187D+03	
6.000+00	2.477D+03	2.477D+03	3.572D+02	4.569D+00	2.463D+03	5.609D-04	2.760D-13	1.030D-04	7.669D+03	4.202D+03	
7.000+00	2.396D+03	2.396D+03	3.107D+02	5.804D+00	2.387D+03	3.026D-03	1.009D-07	3.945D-04	8.210D+03	4.367D+03	
8.000+00	2.385D+03	2.385D+03	2.592D+02	6.934D+00	2.488D+03	1.274D-02	2.743D-06	8.168D-04	8.469D+03	5.287D+03	
9.000+00	2.408D+03	2.408D+03	2.240D+02	8.092D+00	3.074D+03	4.831D-02	8.011D-04	1.732D-03	7.378D+03	3.840D+03	
1.000+01	2.432D+03	2.432D+03	1.932D+02	9.130D+00	3.806D+03	1.545D-01	3.379D-03	4.622D-03	6.013D+03	2.772D+03	
1.100+01	2.425D+03	2.425D+03	1.676D+02	1.016D+01	4.143D+03	3.542D-01	4.516D-02	1.708D-02	5.752D+03	2.385D+03	
1.200+01	2.406D+03	2.406D+03	1.480D+02	1.111D+01	4.326D+03	7.406D-01	1.122D-01	5.021D-02	6.057D+03	2.683D+03	
1.300+01	2.403D+03	2.402D+03	1.340D+02	1.207D+01	4.412D+03	1.265D+00	4.692D-01	1.120D-01	6.551D+03	3.265D+03	
1.400+01	2.413D+03	2.412D+03	1.215D+02	1.294D+01	4.495D+03	2.071D+00	7.652D-01	1.971D-01	6.921D+03	3.683D+03	
1.500+01	2.442D+03	2.433D+03	1.105D+02	1.381D+01	4.658D+03	3.038D+00	1.585D+00	3.067D-01	7.761D+03	4.120D+03	
1.600+01	2.481D+03	2.480D+03	1.008D+02	1.478D+01	4.976D+03	4.431D+00	2.120D+00	4.366D-01	7.627D+03	4.409D+03	
1.700+01	2.520D+03	2.4910D+03	9.160D+01	1.578D+01	5.480D+03	5.962D+00	3.260D+00	5.938D-01	7.302D+03	3.631D+03	
1.800+01	2.519D+03	2.516D+03	8.274D+01	1.670D+01	5.850D+03	7.845D+00	3.898D+00	7.685D-01	7.069D+03	3.769D+03	
1.900+01	2.528D+03	2.514D+03	7.504D+01	1.763D+01	6.220D+03	9.810D+00	5.153D+00	9.632D-01	7.029D+03	3.190D+03	
2.000+01	2.529D+03	2.524D+03	6.934D+01	1.848D+01	6.429D+03	1.205D+01	5.787D+00	1.161D+00	7.314D+03	3.750D+03	

GROUND STATE PRODUCTION CROSS SECTIONS (MB)

ENERGY(MEV)	77194	77193	77192	77191	76193	76192	75190	75189			
1.000+01	4.470D+02	3.215D+03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
2.000+01	2.222D+02	2.894D+03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
5.000+01	7.698D+01	2.587D+03	0.0	0.0	0.0	0.0	3.996D-11	0.0			
1.000+00	4.259D+01	2.046D+03	0.0	0.0	0.0	0.0	2.296D-09	0.0			
1.500+00	3.850D+01	1.794D+03	0.0	0.0	0.0	0.0	1.037D-08	0.0			
2.000+00	4.910D+01	1.733D+03	0.0	0.0	1.774D-11	0.0	9.031D-08	0.0			
3.000+00	3.733D+01	1.613D+03	0.0	0.0	4.916D-08	0.0	2.624D-06	0.0			
4.000+00	2.904D+01	1.532D+03	0.0	0.0	4.564D-06	0.0	5.610D-06	0.0			
5.000+00	2.116D+01	1.441D+03	0.0	0.0	1.218D-04	0.0	3.100D-05	0.0			
6.000+00	1.389D+01	1.358D+03	0.0	0.0	5.520D-04	2.760D-13	5.515D-05	0.0			
7.000+00	9.328D+00	1.224D+03	0.0	0.0	2.959D-03	1.009D-07	1.452D-04	2.650D-09			
8.000+00	6.550D+00	1.092D+03	9.831D+01	0.0	1.197D-02	2.743D-06	2.854D-04	1.627D-06			
9.000+00	4.976D+00	7.591D+02	5.381D+02	0.0	6.475D-02	8.013D-04	5.457D-04	4.604D-06			
1.000+01	3.826D+00	4.590D+02	1.162D+03	0.0	1.364D-01	3.386D-03	1.797D-03	3.870D-05			
1.10D+01	3.071D+00	3.217D+02	1.389D+03	0.0	3.004D-01	4.539D-02	5.450D-03	1.113D-04			
1.20D+01	2.451D+00	2.432D+02	1.511D+03	0.0	5.940D-01	1.138D-01	1.532D-02	4.058D-04			
1.30D+01	2.063D+00	2.023D+02	1.520D+03	0.0	9.622D-01	4.812D-01	2.911D-02	9.407D-04			
1.40D+01	1.736D+00	1.760D+02	1.271D+03	0.0	1.484D+00	8.090D-01	4.673D-02	2.244D-03			
1.500+01	1.535D+00	1.533D+02	1.465D+03	3.091D+01	1.974D+00	1.732D+00	6.624D-02	3.726D-03			
1.60D+01	1.344D+00	1.399D+02	1.033D+03	1.321D+02	2.602D+00	2.582D+00	8.360D-02	1.347D-02			
1.70D+01	1.211D+00	1.252D+02	9.037D+02	3.141D+02	3.012D+00	4.327D+00	1.010D-01	3.197D-02			
1.80D+01	1.074D+00	1.146D+02	5.196D+02	4.277D+02	3.514D+00	5.815D+00	1.033D-01	9.787D-02			
1.900+01	9.820D-01	1.028D+02	4.460D+02	5.006D+02	3.691D+00	8.306D+00	1.149D-01	1.428D-01			
2.000+01	8.795D-01	9.596D+01	2.529D+02	5.363D+02	4.000D+00	1.042D+01	1.099D-01	2.425D-01			

Table 4.3 Isomeric State Production Cross Sections (MB) (2/2)

ISOMERIC STATE PRODUCTION CROSS SECTIONS (MB)

ENERGY(MEV)	77193	77192	77192	77191
LEVEL NO	3	2	7	4
EXC ENERGY	8.020D+02	5.800D+02	1.552D+01	1.713D+01
-----	-----	-----	-----	-----
1.000+01	2.319D+00	0.0	0.0	0.0
2.000+01	3.346D+01	0.0	0.0	0.0
5.000+01	2.087D+02	0.0	0.0	0.0
1.000+00	3.917D+02	0.0	0.0	0.0
1.500+00	5.262D+02	0.0	0.0	0.0
2.000+00	6.177D+02	0.0	0.0	0.0
3.000+00	7.984D+02	0.0	0.0	0.0
4.000+00	9.471D+02	0.0	0.0	0.0
5.000+00	1.083D+03	0.0	0.0	0.0
6.000+00	1.104D+03	0.0	0.0	0.0
7.000+00	1.163D+03	0.0	0.0	0.0
8.000+00	1.176D+03	9.299D+00	2.056D+00	0.0
9.000+00	9.731D+02	3.973D+01	9.316D+01	0.0
1.000+01	5.912D+02	7.945D+01	1.371D+02	0.0
1.100+01	3.789D+02	7.555D+01	2.563D+02	0.0
1.200+01	2.369D+02	8.479D+01	3.266D+02	0.0
1.300+01	1.835D+02	7.012D+01	4.231D+02	0.0
1.400+01	1.447D+02	6.492D+01	7.513D+02	0.0
1.500+01	1.135D+02	5.991D+01	5.740D+02	3.086D+01
1.600+01	1.117D+02	4.731D+01	8.592D+02	1.495D+02
1.700+01	9.464D+01	2.961D+01	6.037D+02	4.112D+02
1.800+01	9.827D+01	2.071D+01	7.005D+02	6.236D+02
1.900+01	8.297D+01	1.268D+01	4.665D+02	8.896D+02
2.000+01	8.840D+01	9.321D+00	4.711D+02	1.055D+03

LEVEL INELASTIC SCATTERING CROSS SECTIONS (MB)

ENERGY(MEV)	NONELASTIC	GROUND	1ST-LEV	2ND-LEV	3RD-LEV	4TH-LEV	5TH-LEV	6TH-LEV	7TH-LEV	8TH-LEV
1.000+01	6.105D+02	3.054D+03	1.613D+02	2.319D+00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.000+01	1.017D+03	2.133D+03	2.499D+02	3.346D+01	3.380D+02	1.733D+02	0.0	0.0	0.0	0.0
5.000+01	1.680D+03	1.194D+03	2.490D+02	5.625D+01	3.991D+02	3.484D+02	1.524D+02	1.440D+02	1.753D+02	7.693D+01
1.000+00	2.055D+03	4.252D+02	1.057D+02	4.850D+01	1.889D+02	2.015D+02	1.263D+02	1.804D+02	1.904D+02	1.205D+02
1.500+00	2.153D+03	2.064D+02	5.314D+01	3.604D+01	9.845D+01	1.291D+02	7.760D+01	1.509D+02	1.426D+02	7.257D+01
2.000+00	2.263D+03	1.367D+02	3.538D+01	3.104D+01	6.937D+01	1.119D+02	5.814D+01	1.530D+02	1.335D+02	5.055D+01
3.000+00	2.420D+03	2.820D+01	7.443D+00	7.544D+00	1.554D+01	8.317D+01	1.264D+01	1.476D+02	1.145D+02	1.177D+01
4.000+00	2.501D+03	6.390D+00	1.676D+00	2.083D+00	3.753D+00	7.991D+01	2.962D+00	1.524D+02	1.149D+02	2.629D+00
5.000+00	2.543D+03	1.693D+00	4.410D+01	6.431D+01	1.038D+00	8.191D+01	8.050D+01	1.602D+02	1.202D+02	7.685D+01
6.000+00	2.476D+03	1.168D+00	3.042D+01	5.037D+01	7.351D+01	8.094D+01	3.397D+01	1.587D+02	1.190D+02	3.187D+01
7.000+00	2.396D+03	5.176D+01	1.346D+01	2.630D+01	3.298D+01	6.981D+01	2.868D+01	1.382D+02	1.037D+02	2.457D+01
8.000+00	2.384D+03	6.543D+01	1.689D+01	3.971D+01	4.194D+01	5.781D+01	2.115D+01	1.155D+02	8.666D+01	1.598D+01
9.000+00	2.408D+03	3.822D+01	9.812D+02	2.663D+01	2.465D+01	4.987D+01	2.623D+01	9.991D+01	7.497D+01	1.799D+01
1.000+01	2.432D+03	4.762D+01	1.220D+01	3.626D+01	3.092D+01	4.312D+01	1.781D+01	8.606D+01	6.457D+01	1.155D+01
1.100+01	2.425D+03	2.844D+01	7.295D+02	2.275D+01	1.860D+01	3.735D+01	2.130D+01	7.471D+01	5.606D+01	1.347D+01
1.200+01	2.406D+03	3.429D+01	8.800D+02	2.829D+01	2.256D+01	3.299D+01	1.343D+01	6.594D+01	4.947D+01	8.402D+02
1.300+01	2.403D+03	2.239D+01	5.742D+02	1.902D+01	1.483D+01	2.985D+01	1.726D+01	5.974D+01	4.483D+01	1.069D+01
1.400+01	2.413D+03	2.602D+01	6.664D+02	2.274D+01	1.734D+01	2.711D+01	1.025D+01	5.411D+01	4.060D+01	6.286D+02
1.500+01	2.442D+03	1.777D+01	4.542D+02	1.600D+01	1.191D+01	2.464D+01	1.403D+01	4.923D+01	3.694D+01	8.504D+02
1.600+01	2.481D+03	2.158D+01	5.511D+02	2.001D+01	1.455D+01	2.251D+01	8.561D+02	4.487D+01	3.366D+01	5.133D+02
1.700+01	2.502D+03	1.531D+01	3.908D+02	1.454D+01	1.037D+01	2.043D+01	1.2400D+01	4.084D+01	3.064D+01	7.365D+02
1.800+01	2.518D+03	1.809D+01	4.619D+02	1.754D+01	1.231D+01	1.845D+01	7.252D+02	3.686D+01	2.765D+01	4.274D+02
1.900+01	2.528D+03	1.384D+01	3.534D+02	1.365D+01	9.450D+02	1.670D+01	1.142D+01	3.349D+01	2.512D+01	6.694D+02
2.000+01	2.528D+03	1.502D+01	3.836D+02	1.504D+01	1.029D+01	1.544D+01	6.020D+02	3.090D+01	2.318D+01	3.511D+02

Table 4.4 Program CROSCOM (1/5)

```

C      PROGRAM CROSCOM.FOR      PROGRAMMED BY N. YAMAMURO 1990-02-18
C
C      COMBINATION OF CAPTURE CROSS SECTIONS FROM EGNASH2 CALCULATION
C      AND RESONANCE DATA, AND EDITION OF GROUND AND ISOMERIC PRODUCTION
C      CROSS SECTIONS USING RATIO OF TWO STATES PRODUCTION.
C
C      DIMENSION LFS(3),QVA(3),NBT(6),INTP(6),NBTT(6),INTPP(6),
*          EM(50),SM(50,3),EA(50),SA(50),EN(200),SN(200),
*          SNG(200,3),RT(200,3),SRT(200,3)
C
C      CHARACTER REC*66,CAS*3
C
C      DATA NO,LIS,ZZ,NCA/0,0,0.,0/
C
C      WRITE(*,101)
C      WRITE(*,103)
C      OPEN(3,FILE=' ')
C      OPEN(4,FILE=' ')
C      OPEN(5,FILE=' ')
C      OPEN(6,FILE=' ',STATUS='NEW')
C
11     READ(5,130,END=99) REC,MAT,MF,MT
        IF(MAT.EQ.1 .AND. MF.EQ.1 .AND. MT.EQ.1) GO TO 11
        IF(MT.NE.0) GO TO 12
        WRITE(6,130) REC,MAT,MF,MT
        GO TO 11
12     READ(REC,135) ZA,AWR,NS
        IF(MF.EQ.10 .AND. MT.EQ.102) GO TO 13
C
C      DO 15 J=1,NS
C      READ(5,170) QVA(J),LFS(J),NRR,NPP,(NBTT(I),INTPP(I),I=1,NRR)
C      IF (J.EQ.1) WRITE(6,310) ZA,AWR,LIS,NO,NS,NO,MAT,MF,MT
C      WRITE(6,310) ZZ,QVA(J),NO,LFS(J),NRR,NPP,MAT,MF,MT
C      WRITE(6,330)(NBTT(I),INTPP(I),I=1,NRR)
C      II=NPP/3
C      IF(MOD(NPP,3).NE.0) II=II+1
C      DO 16 I= 1,II
C      READ(5,130) REC,MAT,MF,MT
C      WRITE(6,130) REC,MAT,MF,MT
16     CONTINUE
15     CONTINUE
        GO TO 11
C
13     READ(5,170) QVA(1),LFS(1),NRR,NPP,(NBTT(I),INTPP(I),I=1,NRR)
        READ(5,160) (EM(I),SM(I,1),I=1,NPP)
        WRITE(*,160)(EM(I),SM(I,1),I=1,NPP)
C
C      DO 17 J=2,3
C      DO 17 I=1,NPP
C      SM(I,J)=0.
17     CONTINUE
C
41     READ(4,130) REC,MATT,MFF,MTT
        IF(MATT.EQ.1 .AND. MFF.EQ.1 .AND. MTT.EQ.1) GO TO 43
        IF(MTT.NE.102 .OR. MATT.NE.MAT) GO TO 41

```

Table 4.4 Program CROSCOM (2/5)

```

      READ(REC,135) ZA,AWR,NS
C
      DO 42 J=1,NS
      READ(4,170) QVA(J),LFS(J),NRR,NPP,(NBTT(I),INTPP(I),I=1,NRR)
      READ(4,160) (EM(I),SM(I,J),I=1,NPP)
      WRITE(*,160)(EM(I),SM(I,J),I=1,NPP)
C
      42 CONTINUE
      GO TO 44
C
      43 REWIND 4
      44 WRITE(*,110)INT(ZA)
      READ(*,120) EC
      IF(EC.GT.0.) GO TO 10
      NP=NPP
      NR=NRR
      DO 45 I=1,NR
C
      45 NBT(I)=NBTT(I)
      DO 46 I=1,NP
      EN(I)=EM(I)
      SN(I)=SM(I,1)+SM(I,2)+SM(I,3)
C
      46 CONTINUE
      GO TO 54
C
      10 READ(3,130) REC,MATT,MFF,MTT
      IF(MTT.NE.102) GO TO 10

      READ(REC,140) ZAA
      READ(3,150) NR,NP,(NBT(I),INTP(I),I=1,NR)
      READ(3,160) (EN(I),SN(I),I=1,NP)
      C
      WRITE(*,160)(EN(I),SN(I),I=1,NP)
C
      IF(ZAA.EQ.ZA) GO TO 18
      WRITE(*,102)
      GO TO 99
C
      18 DO 20 I=1,NP
      IF(EN(I).GT.EC) GO TO 21
      20 CONTINUE
      KA=NP
      GO TO 22
      21 KA=I-1
C
      22 DO 30 I=1,NPP
      IF(EM(I).GE.EC) GO TO 31
      30 CONTINUE
      KB=NPP+1
      GO TO 32
      31 KB=I
      32 KC=NPP-KB+1
      WRITE(*,180) INT(ZA),KA,KC,KB
C
      IF(KC.LE.0) GO TO 54
      DO 40 I=1,KC
      IN=KA+I
      IM=KB-1+I
      EN(IN)=EM(IM)

```

Table 4.4 Program CROSCOM (3/5)

```

      SN(IN)=SM(IM,1)+SM(IM,2)+SM(IM,3)
40  CONTINUE
C
      DO 50 I=1,NR
      IF(NBT(I).GT.KA) GO TO 51
50  CONTINUE
51  NBT(I)=KA
C
      DO 52 I=1,NRR
      J=I+NR
      NBT(J)=NBTT(I)-(KB-1)+KA
      INTP(J)=INTPP(I)
52  CONTINUE
      NR=NR+NRR
      NP=KA+KC
C
54  INTP(1)=5
      INTP(3)=5
C
      WRITE(*,104) INT(ZA)
      READ (*,105) CAS
      IF(CAS.EQ.' ') GO TO 47
      IF(NCA.EQ.0) OPEN(2,FILE=' ')
      NCA=NCA+1
C
60  READ(2,130) REC,MATT,MFF,MTT
      IF(MTT.NE.102) GO TO 60
      READ(REC,140) ZAA
      READ(2,150) NRR,NPP,(NBTT(I),INTPP(I),I=1,NRR)
      READ(2,160) (EA(I),SA(I),I=1,NPP)
67  READ(2,130) REC,MATT,MFF,MTT
      IF(MATT.NE.-1) GO TO 67
C
      NPP=NPP+2
      DO 66 I=NPP,3,-1
      EA(I)=EA(I-2)
      SA(I)=SA(I-2)
66  CONTINUE
      EA(1)=1.0E-05
      EA(2)=EA(3)*1.0E-04
      RE=SQRT(EA(2)/EA(1))
      SA(1)=SA(3)*RE
      SA(2)=SA(3)
C
      IF(EC.LE.0.) GO TO 62
      DO 61 I=1,KC
      IN=KA+I
      IM=KB-1+I
      EN(IN)=EA(IM)
      SN(IN)=SA(IM)
61  CONTINUE
      GO TO 64
C
62  DO 63 I=1,NPP
      EN(I)=EA(I)

```

Table 4.4 Program CROSCOM (4/5)

```

      SN(I)=SA(I)
63  CONTINUE
C
64  IF(ZAA.EQ.ZA) GO TO 47
      WRITE(*,102)
      GO TO 99
C
47  IF(NS.GT.1) GO TO 53
      DO 65 I=1,NP
      65  SNG(I,1)=SN(I)
      GO TO 95
C
C      CALCULATION FOR RATIO OF TRANSITION TO GROUND AND ISOMERIC STATES
C
53  DO 80 I=1,NPP
      SUM=0.
      DO 82 J=1,NS
      82  SUM=SUM+SM(I,J)
      DO 84 J=1,NS
      84  RT(I,J)=SM(I,J)/SUM
      80  CONTINUE
      DO 81 J=1,NS
      WRITE(*,160) (EM(I),RT(I,J),I=1,NPP)
      81  CONTINUE
C
C      CALCULATION SPLINE FUNCTIONS
C
      DO 85 J=1,NS
      85  CALL SPLINE(NPP,EM(1),RT(1,J),SRT(1,J))
C
      DO 86 J=1,NS
      DO 86 I=1,NP
      CALL INTERP(EM(1),RT(1,J),SRT(1,J),NPP,EN(I),YOUT)
      IF(YOUT.LT.0.) YOUT=0.
      SNG(I,J)=SN(I)*YOUT
      86  CONTINUE
C
95  WRITE(6,310)ZA,AWR,LIS,NO,NS,NO,MAT,MF,MT
      DO 90 J=1,NS
      WRITE(6,310)ZZ,QVA(J),NO,LFS(J),NR,NP,MAT,MF,MT
      WRITE(6,330)(NBT(I),INTP(I),I=1,NR)
      II=NP/3
      IF(II.EQ.0) GO TO 92
      DO 91 K=1,II
      I1=1+3*(K-1)
      I2=I1+2
      91  WRITE(6,340)(EN(IK),SNG(IK,J),IK=I1,I2),MAT,MF,MT
      92  IL=MOD(NP,3)
      IF(IL.EQ.0) GO TO 90
      I1=I2+1
      IF(II.EQ.0) I1=1
      I2=I1+IL-1
      IF(IL.EQ.1) WRITE(6,350)(EN(IK),SNG(IK,J),IK=I1,I2),
      *MAT,MF,MT
      IF(IL.EQ.2) WRITE(6,360)(EN(IK),SNG(IK,J),IK=I1,I2),
      *MAT,MF,MT

```

Table 4.4 Program CROSCOM (5/5)

```

90  CONTINUE
    GO TO 11
C
101  FORMAT(' FILE 3 = 70 GROUP CONSTANT FROM JENDL-3 (.A70)'/  

     *      ' FILE 4 = GROND AND ISOMERIC PRODUCTION CROSS SECTIONS FRO  

     *M EGNASH2 (.BGX')/  

     *      ' FILE 5 = FILE 10 OF ENDF-B FORMAT INCLUDING TOTAL CAPTURE  

     * CROSS SECTIONS (.BNX') )
102  FORMAT(' ZA IS NOT EQUAL FOR RESONANCE AND EGNASH2 CALCULATION')
103  FORMAT(/)
104  FORMAT(' USE CASTHY2Y CALCULATION FOR'I7' YES or blank')
105  FORMAT(A3)
110  FORMAT(' CONNECTION ENERGY FOR RESONANCE AND CONTINUUM DATA (eV) F  

     *OR'I7/' IF NO RESONANCE, PUT EC=0. FORMAT(E10.3)')
120  FORMAT(E10.3)
130  FORMAT(A6,I4,I2,I3)
135  FORMAT(2E11.4,22X,I11)
140  FORMAT(2E11.4)
150  FORMAT(44X,2I11/(6I11))
160  FORMAT(6E11.4)
170  FORMAT(11X,E11.4,11X,3I11/(6I11))

180  FORMAT(4I10)
310  FORMAT(1P2E11.4,4I11,I4,I2,I3)
330  FORMAT(6I11)
340  FORMAT(1P6E11.4,I4,I2,I3)
350  FORMAT(1P2E11.4,44X,I4,I2,I3)
360  FORMAT(1P4E11.4,22X,I4,I2,I3)
C
99  STOP
END

```

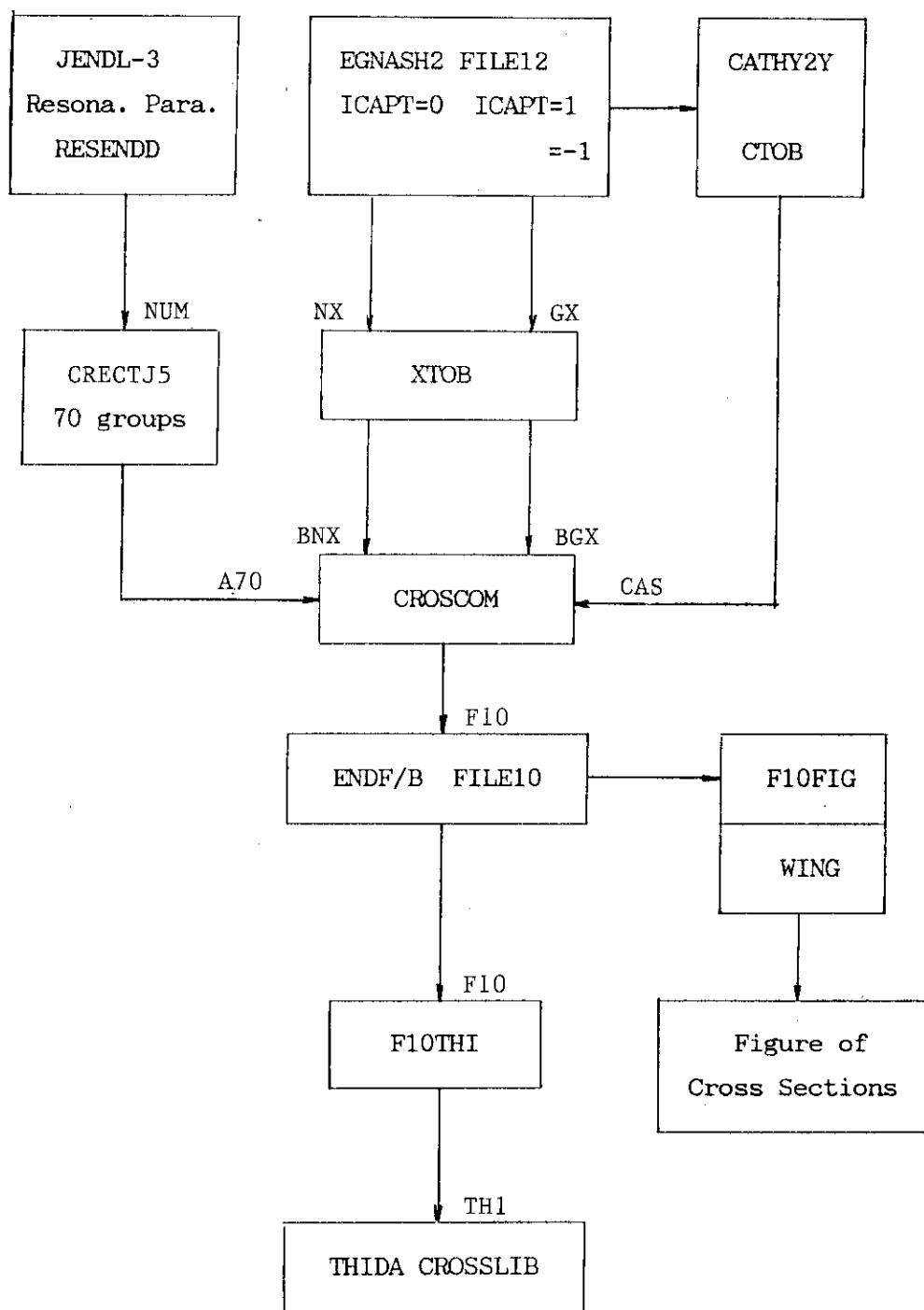


Fig. 4.1 Data Process for ENDF/B File10 and CROSSLIB

5. む す び

原子炉及び核融合炉における中性子照射に伴って生ずる放射性核種の生成を評価するために必要な「放射化断面積データファイルの作成」が昨年度に引き継ぎされ、別に進められている作業と合わせれば、当初の目標とする重点元素59を対象とし、1日以上の半減期をもつ放射化同位体に対する生成断面積の評価は一応完了することになる。但し、作業を進めるにつれて、その手法に多くの改良が加えられた経緯から見て、結果の全般的な再検討の過程が不可欠と思われる。

なかでも S INCROS システムの開発は、放射化断面積の計算評価の活動と深い関わりがある。このシステムでは、半減期の長さに関係なくすべての放射化断面積が一括して計算され、存在する実験データとの比較によって、計算に用いられる多くのパラメータの系統性を見出してゆく点に特長がある。こうして実験データの少ない、あるいは存在しない核反応生成断面積に対する予測能力を備えてゆくことができる。そのことは昨年9月、 A N Lで開催された IAEA 主催の超長半減期放射性核種生成に関する C R P や、 NEANDC の放射化断面積国際協力ワーキンググループ結成のための会合で証明ずみである。

本年度は、 EGNASH2などの計算結果を中心とし、これらを ENDF / B ファイル10にまとめた PC 用プログラムシステムを完成し、 S INCROS-II に組み入れられた。放射化断面積ファイルの国際比較が話題になっている昨今、以上述べた評価の経緯の蓄積と計算システムの完成は非常に心強い。

謝 詞

本作業の実行に当たって、物理部核データセンターの菊地康之、中島 豊、中川庸雄、成田孟、柴田恵一の諸氏に計算機の使用、データの検索、提供などいろいろな点で大変ご協力を戴いた。また、東芝の深井佑造氏に放射化断面積の計算・評価の実際面で助力していただいた。

ここに以上の諸氏に謝意を表したい。

5. む す び

原子炉及び核融合炉における中性子照射に伴って生ずる放射性核種の生成を評価するために必要な「放射化断面積データファイルの作成」が昨年度に引き続き継続され、別に進められている作業と合わせれば、当初の目標とする重点元素59を対象とし、1日以上の半減期をもつ放射化同位体に対する生成断面積の評価は一応完了することになる。但し、作業を進めるにつれて、その手法に多くの改良が加えられた経緯から見て、結果の全般的な再検討の過程が不可欠と思われる。

なかでも S INCROS システムの開発は、放射化断面積の計算評価の活動と深い関わりがある。このシステムでは、半減期の長さに関係なくすべての放射化断面積が一括して計算され、存在する実験データとの比較によって、計算に用いられる多くのパラメータの系統性を見出してゆく点に特長がある。こうして実験データの少ない、あるいは存在しない核反応生成断面積に対する予測能力を備えてゆくことができる。そのことは昨年9月、A N Lで開催された IAEA 主催の超長半減期放射性核種生成に関する C R P や、NEANDC の放射化断面積国際協力ワーキンググループ結成のための会合で証明ずみである。

本年度は、EGNASH2などの計算結果を中心とし、これらを ENDF / B ファイル10にまとめた PC 用プログラムシステムを完成し、S INCROS-II に組み入れられた。放射化断面積ファイルの国際比較が話題になっている昨今、以上述べた評価の経緯の蓄積と計算システムの完成は非常に心強い。

謝 詞

本作業の実行に当たって、物理部核データセンターの菊地康之、中島 豊、中川庸雄、成田孟、柴田恵一の諸氏に計算機の使用、データの検索、提供などいろいろな点で大変ご協力を戴いた。また、東芝の深井佑造氏に放射化断面積の計算・評価の実際面で助力していただいた。

ここに以上の諸氏に謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) N. Yamamuro, "A Nuclear Cross Section Calculation System with Simplified Input-Format Version II", (SINCROS-II), JAERI-M 90-006 (1990).
- 2) K. Shibata et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library, Version-3", JENDL-3, JAERI-1319 (1990).
- 3) P.G. Young and E.D. Arthur, "GNASH: A Preequilibrium, Statistical Nuclear-Model Code for Calculation of Cross Sections and Emission Spectra", LA-6947 (1977).
- 4) M. Shimizu, "Program Wing", private communication (1983).
- 5) A.G. Dovbenko et al., 73Kiev, 3, 139 (1973).
- 6) D.C. Santry and J.P. Butler, Cana. J. Phys., 50, 2536 (1972).
- 7) D.L. Smith and J.W. Meadows, Nucl. Sci. Eng., 58, 314 (1975).
- 8) D.L. Smith et al., Nucl. Sci. Eng., 76, 61 (1980).
- 9) M. Bormann et al., Nucl. Phys., 63, 438 (1965).
- 10) Y. Ikeda et al., private communication (1988).
- 11) M. Herman et al., INR-1871/I/PL/A (1980).
- 12) A. Paulsen and H. Liskien, Nucleonik, 7, 117 (1965).
- 13) M. Bormann et al., Z. Phys., 174, 1 (1963).
- 14) D.R. Koehler et al., Phys. Rev., 119, 311 (1960).
- 15) L.A. Rayburn et al., Phys. Rev., 130, 731 (1963).
- 16) M. Lindner et al., Nucl. Sci. Eng., 59, 381 (1976).
- 17) D.C. Stupegia et al., J. Nucl. Energy, 19, 767 (1965).
- 18) A.A. Bergman et al., 71Kiev, 1, 144 (1971).
- 19) R.L. Macklin and P.G. Young, Nucl. Sci. Eng., 97, 239 (1987).
- 20) H. Vonach et al., "Existing knowledge on (n,2n) reactions on ^{109}Ag , ^{151}Eu , ^{153}Eu , ^{159}Tb , ^{187}Re and ^{193}Ir ", IAEA Consultants' Meeting on Activation Cross Sections for the Generation of Long-Lived Radio-nuclides, 11-12 September 1989, Argonne National Laboratory.
- 21) W. Augustyniak et al., EXFOR, Acc. No. 30444 (1968).
- 22) J.C. Browne et al., Phys. Rev., C23, 1434 (1981).
- 23) M. Herman et al., Nucl. Phys., A357, 1 (1981).
- 24) F.J. Vaughn et al., EXFOR, Acc. No. 12223 (1963).
- 25) P. Decowski et al., Nucl. Phys., A204, 121 (1973).
- 26) Y. Ikeda et al., "Activation Cross Section Measurements for Fusion

Reactor Structural Materials at Neutron Energy from 13.3 to 15.0 MeV Using FNS Facility", JAERI 1312 (1988).

- 27) M. Bormann et al., EANDC(E), 76, 51 (1967).
- 28) J. Frehaut et al., EXFOR, Acc. No. 20416 (1980).
- 29) E.R. Shunk et al., BAP, 7, 334(TA9) (1962).
- 30) R. Macklin et al., Phys. Rev., C14, 1389 (1976).
- 31) L.R. Veeser, E.D. Arthur, and P.G. Young, Phys. Rev., C16, 1792 (1977).
- 32) W. Grochulski et al., Acta Phys. Polo. B6, 139 (1975).
- 33) E. Gryntakis et al., Tech. Reorts Ser. No.273, "Handbook on Nuclear Activation Data", IAEA, Vienna, 1987, p.199.
- 34) E. Rurarz et al., INR-1401 (1972) P.4.
- 35) R. Repelink et al., ENANDC(E)-262U (1985).
- 36) P.R. Prasad et al., Nucl. Phys., A125, 57 (1969).
- 37) H. Weigel et al., Radiochem. Acta, 22, 11 (1975).
- 38) S.M. Qaim, Radiochem. and Radioanal. Letters, 25, 335 (1976).
- 39) M.B. Chadwick and P.G. Young, NEANDC-259 'U', 241 (1989).
- 40) T. Nakagawa, "Program RESENDD (Version 84-07): A Program for Reconstruction of Resonance Cross Sections from Evaluated Nuclear Data in the ENDF/B Format", JAERI-M 84-192 (1980).
- 41) T. Nakagawa, "Program CRECTJ5", private communication.
- 42) A Modified Code of CASTHY2, S. Igarasi, J. Nucl. Sci. Technol., 12, 67 (1975).
- 43) Y. Seki, H. Iida, H. Kawasai, and K. Yamada, "THIDA-2: An Advanced Code System of Transmutation, Activation, Decay Heat and Dose Rate", JAERI 1301 (1986).