

遮蔽における鉄データの問題点

小山 謹二^{*}, 川合 将義^{**}

山野 直樹⁺, 南 多善⁺⁺

1) はじめに

シグマ委員会・遮蔽定数ワーキング・グループは、53年度研究計画として、JENDL-1とENDF/B-Nに収録されている鉄の核データについて比較検討し、2つの核データの差が遮蔽効果に及ぼす影響を調べることにした。この報告は、その成果をまとめたものである。

JENDL-1とENDF/B-Nの鉄の核データ(MAT=1260及び1192)には、共鳴断面積と非弾性散乱断面積の扱いに大きな相違が見られる。すなわちJENDL-1では、400keV以上に存在する共鳴構造について、その共鳴が非分離領域として処理しなければならないことから、平均化し、スムーズな形で収録している。一方、ENDF/B-Nでは実測値を尊重し、高エネルギー領域まで共鳴の微細構造を組込んでいる。(Fig.1参照)また非弾性散乱断面積もFig.2に見られる様に、分離レベルの扱いが異り、更に連続レベルで励起される2次中性子エネルギースペクトルについては、MAT=1260では核モデルとして蒸発モデルを採用し、MAT=1190ではテーブル形式により記述し、より詳細に扱っている。

この様に基本的に処理方法の異なる2つの評価済核データが与えられた時、遮蔽解析に携わる者としては、いずれの核データが信頼出来るかを、ベンチマーク計算等により判定しなければならない。しかし、残念ながら現有の解析コード群による計算結果から、この判定を下すにたりる信頼性は、解析コード群自体にないと言わざるを得ない。従って、鉄の核データの持つ相違のみが現われる様な解析手法を取り、核データの遮蔽に及ぼす影響を調べた。

2) 全断面積における微細構造

鉄の遮蔽性能を考える時、その無限希釈断面積が直接関係するのではなく、純鉄ブロック等の実効断面積、すなわち、共鳴の自己遮蔽因子を考慮した断面積が問題となる。Fig.3に見られる様に、JENDL-1とENDF/B-Nの自己遮蔽因子は400keV以上で大巾に異なる。この400keV以上に見られる共鳴の微細構造が遮蔽に及ぼす効果を調べるために、反応率の空間分布に対する自己遮蔽因子の感度解析を行った。計算条件を以下に示す。

* 原研, ** N A I G

+ 住友原工 ++ 富士通

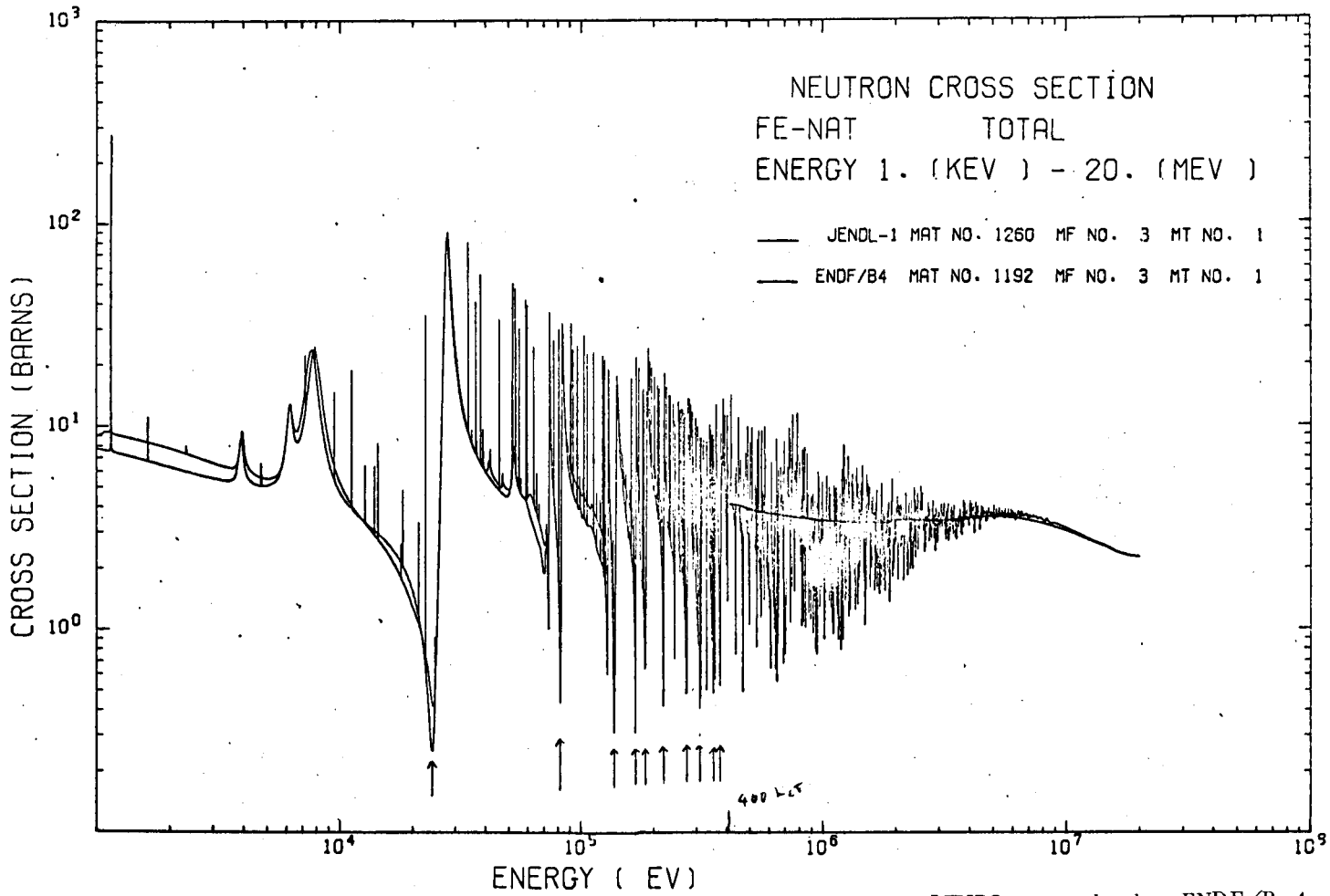


Fig. 1 Comparison of iron cross sections filed on the JENDL-1 and the ENDF/B-4

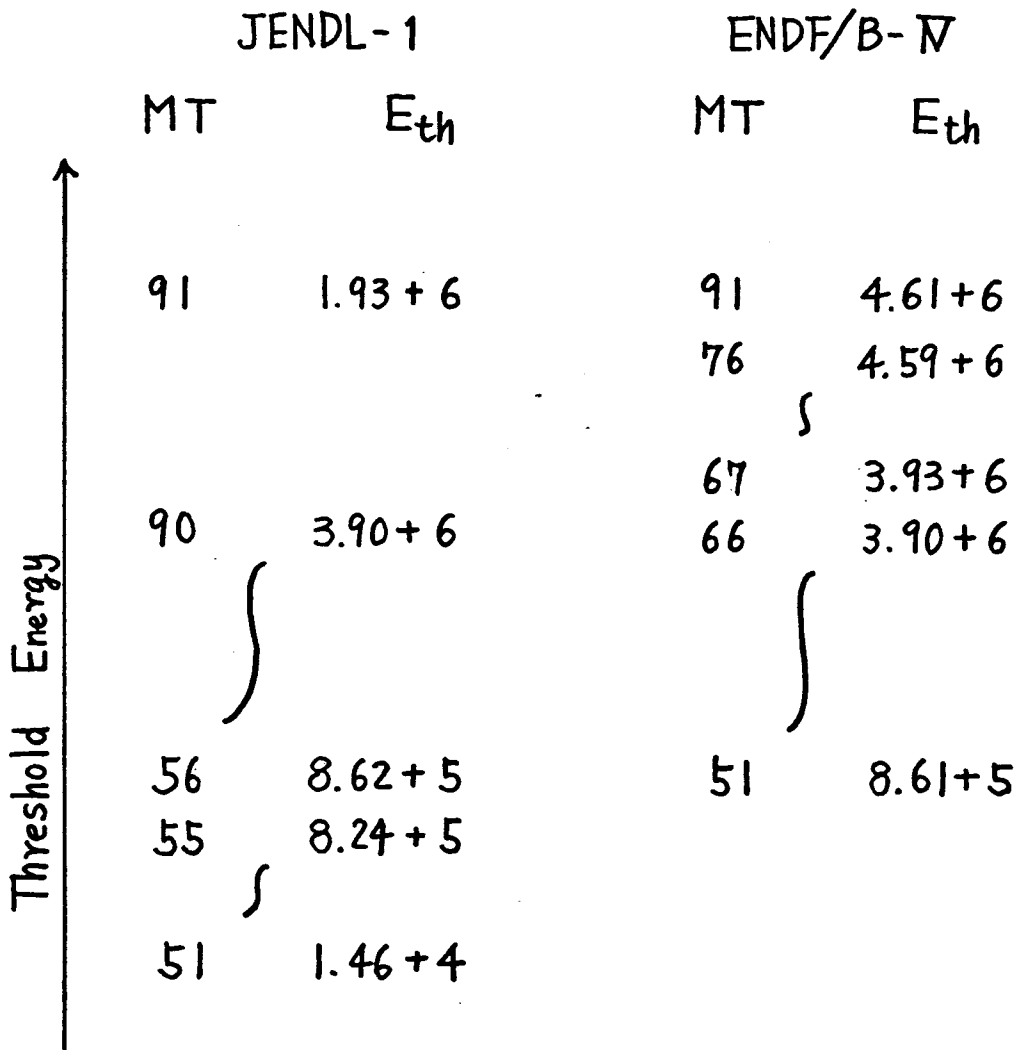


Fig. 2 Structure of Fe Inelastic Cross Section

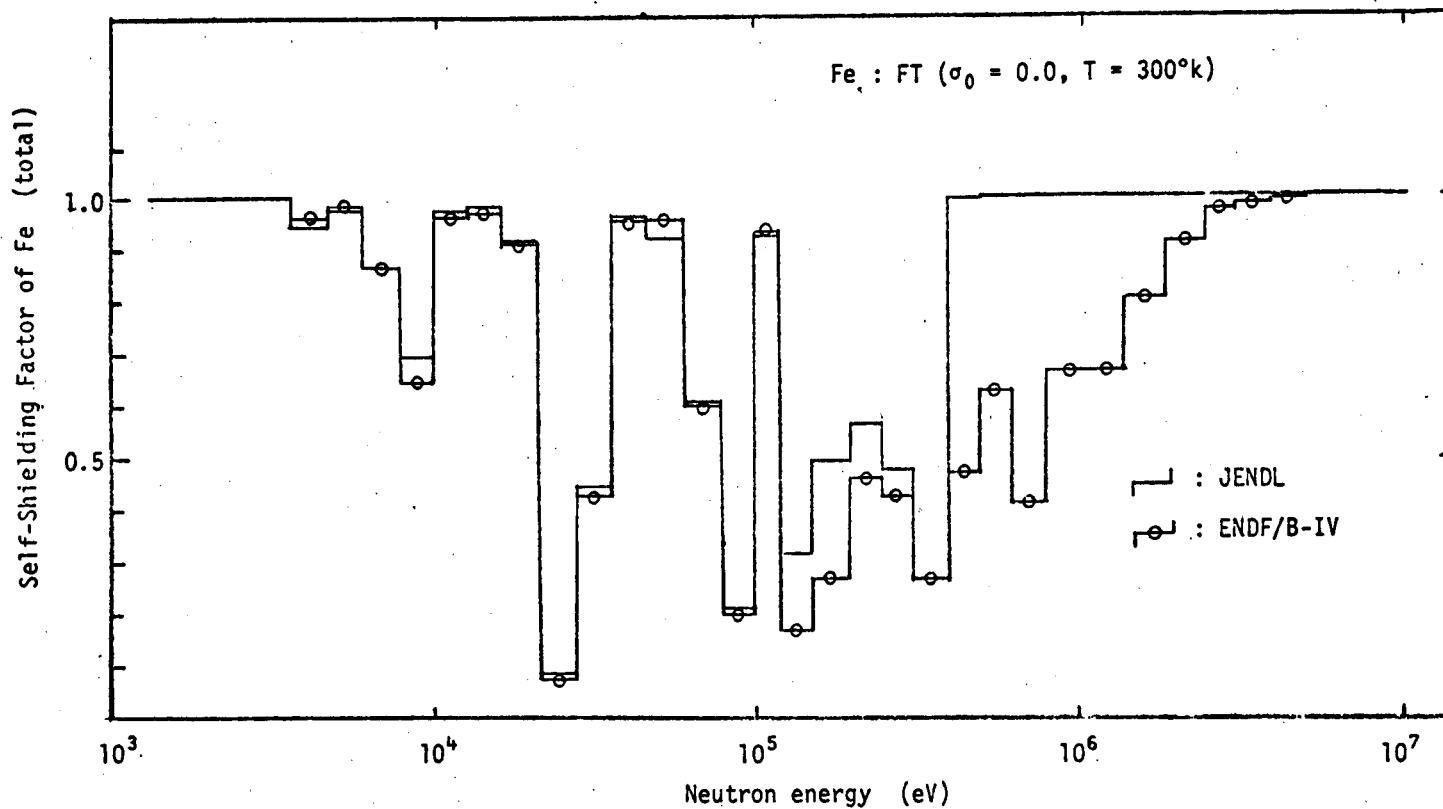


Fig. 3 Comparison of self-shielding factors of iron obtained from the JENDL-1 and the ENDF/B-4

- i) 核データ : ENDF/B-V; MAT=1192
- ii) 群構造 : 0.2Δu 等レサジー; 40群
- iii) エネルギー範囲 : 1.677keV ~ 5.0MeV
- iv) 輸送計算 : 1次元Snコード; P₅-S₁₆
- v) 体系 : 50cm 厚さの平板 Δx = 1.0cm
 100cm " { Δx = 1.0cm
 = 2.0cm

なお100cm 厚の平板系では、境界から20cm まではΔx = 1.0cm とし、中心部では Δx = 2.0cm としている。

Fig. 4 及び5 に50cm 及び100cm 厚体系の結果を示しているが、この結果はいずれも自己遮蔽因子が100%変化した時の数値に換算してある。いずれの体系についても、約2MeV までの範囲に見られる共鳴の微細構造は自己遮蔽因子を介し、Neutron Dose、Atomic Displacement 更には1/v Absorption に対しかなりの影響を及ぼしている。Fig. 5 に見られる様に、最も感度の低い1/v Absorption においても、1~2MeV で1%程度、600~700keV で10%の感度を持ち、Neutron Dose 及びAtomic Displacement では30%もの感度を持つ。

これ等の結果から明らかな様に、核データの実測値に共鳴構造が見られるエネルギー領域については、何らかの方法で評価済核データに、その構造を組み込まなければならない。

3) 非弾性散乱断面積

すでに示した様にJENDL-1とENDF/B-Vでは非弾性散乱断面積の扱いが大巾に異なる。以下にその相違を大別しまとめて見る。

- i) ENDF/Bフォーマットのファイルでは、連続レベルを含め41の非断性散乱部分断面積しか収録出来ない。JENDL-1では、天然に存在する鉄を構成する全ての核種について、閾エネルギーの低いものから順次レベルを積み上げ、41レベル全てにデータを収録している。このため離散レベルとして収録されている最高閾エネルギーは3.90MeVである。一方ENDF/B-Vでは、閾エネルギーの接近しているレベルのあるものは合成し、人意的にレベル数を少なくし、閾エネルギーが4.61MeVの離散レベル(MT=76)まで収録している。
- ii) ENDF/B-Vでは天然鉄中で最大の組成比(91.68A/D)を持つ⁵⁶Feを中心にデータを処理し、他の核種については若干のレベルを考慮しているにすぎない。従って⁵⁷Fe 800keV 以下に閾エネルギーを持つ非弾性散乱部分断面積は収録されていない。

iii) ENDF/B-IV で離散レベルとして処理されている 3.90~4.61MeV のレベルは、JENDL-1 では連続レベルとして処理されている。

iv) 連続レベル(MT=91) で励起された 2 次中性子のエネルギースペクトルは、JENDL-1 では核モデルとして蒸発モデルを採用し核温度を与えているが、ENDF/B-IV ではテーブル形式により記述し、より詳細に扱っている。

この様に大きな差を持つ 2 種の核データの遮蔽に及ぼす影響を調べるため、ENDF/B-IV の MAT=1192 の核データを基本とし、MAT=1260 の MT=51~91 を順次 MAT=1192 のそれに置き換え、以下に示す合成核データを作り、1次元球形(R=50cm、 $\Delta R=10$ cm) 輸送計算を $P_{12}-S_{64}$ 近似で行った。

No	MAT	No	記
1	2600	1192	の MT=51~91 を 1260 の MT=51~91 で全て置き換える。
2	2601	1192	の MT=91 を 1260 の MT=91 で置かえる。
3	2602	2601	の MT=67~76 を MT=91 に振り換える。
4	2603	2601	に 1260 の MT=51 を追加する。
5	2604	2601	に 1260 の MT=51~55 を追加する。

この 5 種類の合成核データと基準とした ENDF/B-IV の MAT=1192 の核データから RADHEAT-V3 を用いて DLC-2 形式 100 群の群定数を作成し、前述の半径 50cm の鉄球の遮蔽計算を行った。線源は中心部の半径 4cm 内に分散し、エネルギーは 0.65、4.5 及び 14MeV の 3 種とした。

計算結果は、全てで MAT=1192 での値で規格化し、その偏差としてまとめている。Fig. 6~8 には R=30cm におけるエネルギースペクトルの偏差が示されているが Fig. 6 では、JENDL-1 でのみ組込まれている MT=51~55 の離散レベルにより、熱中性子束は約 80% も高くなる事を、Fig. 7 では、3.9~4.6MeV の離散レベル(MAT=1192) を連続レベルに組入れる事による差、更に Fig. 8 には、MAT=1192 と MAT=1260 の高エネルギー部の断面積の差が表われている。これ等のエネルギースペクトルの差が Neutron Dose の空間分布に及ぼす影響が Fig. 9 に示されている。この Neutron Dose 分布では、高々数% の偏差しか生じていないが、Fig. 10 に示した $^{58}\text{Ni}(n,p)$ 反応の空間分布では、20~30% の偏差が見られる。

これ等の結果を総合すると、鉄の非弾性散乱断面積にも多くの問題点を残している。その第 1

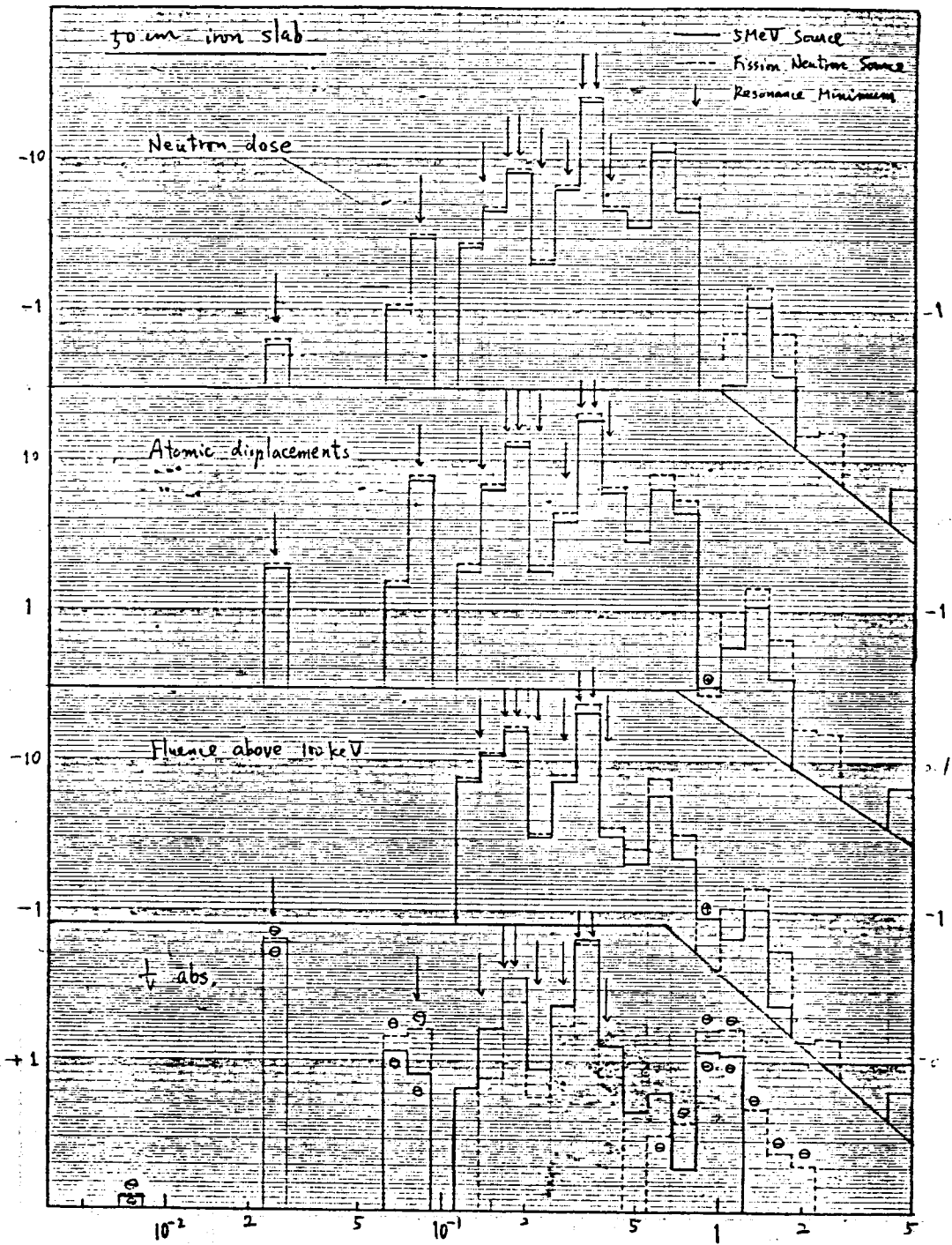


Fig. 4 Sensitivity of Response to Self-Shielded Elastic Scattering Cross Section (50 cm)

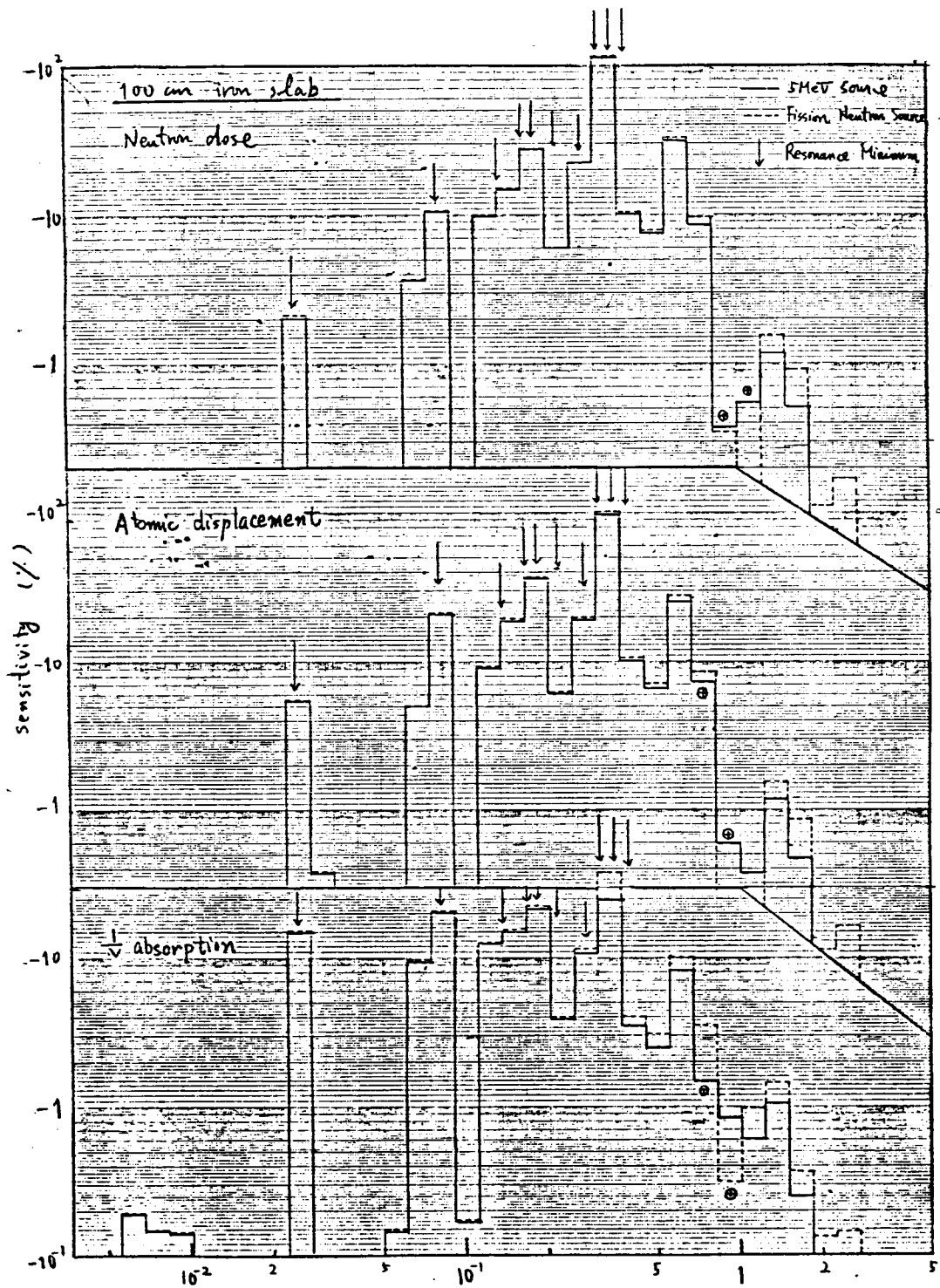
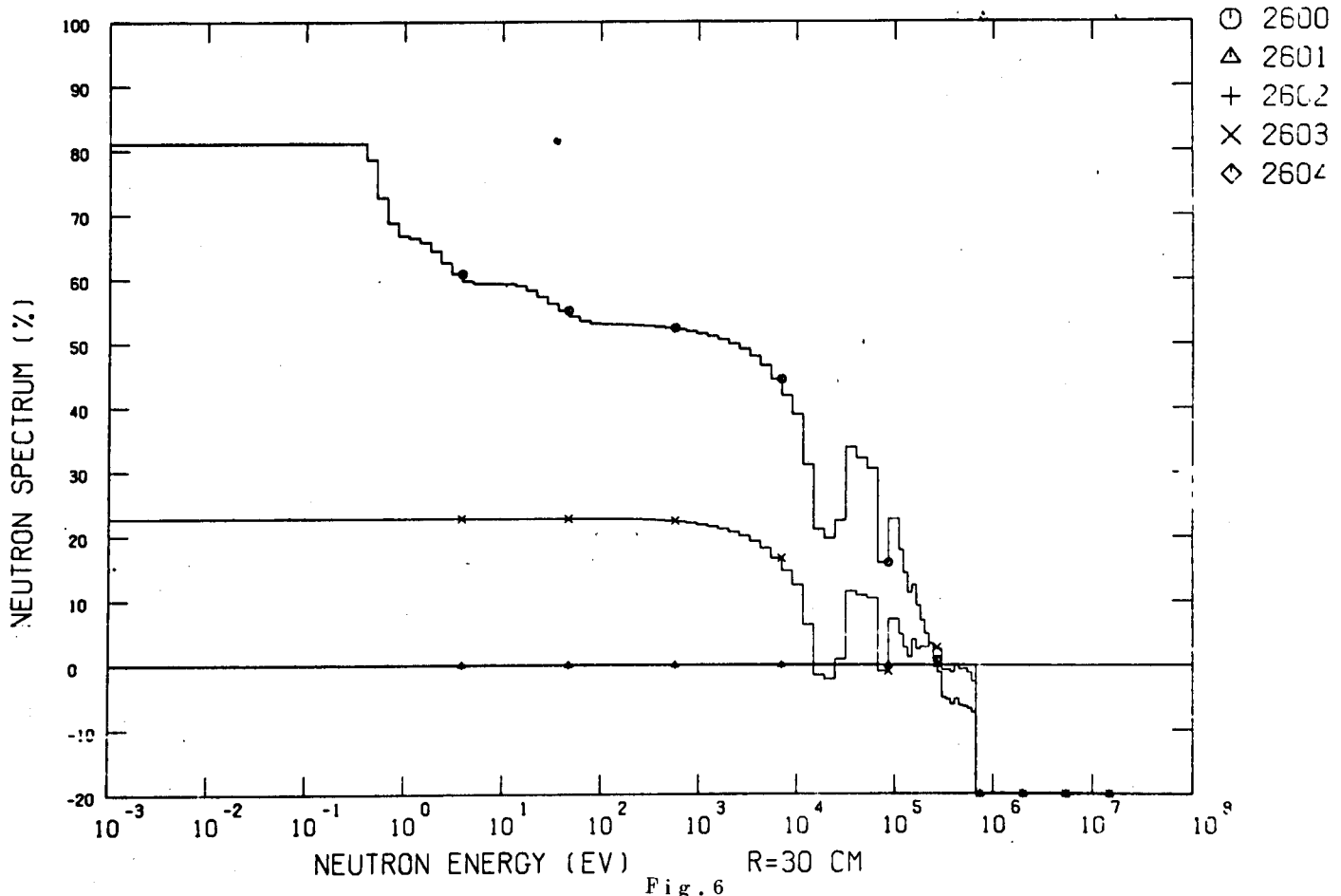


Fig. 5 Sensitivity of Response to Self-Shielded Elastic Scattering Cross Section (100 cm Iron)

SOURCE ENERGY 0.65 MEV
NORMALIZED BY 1192



SOURCE ENERGY 4.50 MEV
NORMALIZED BY 1192 CASE2

double

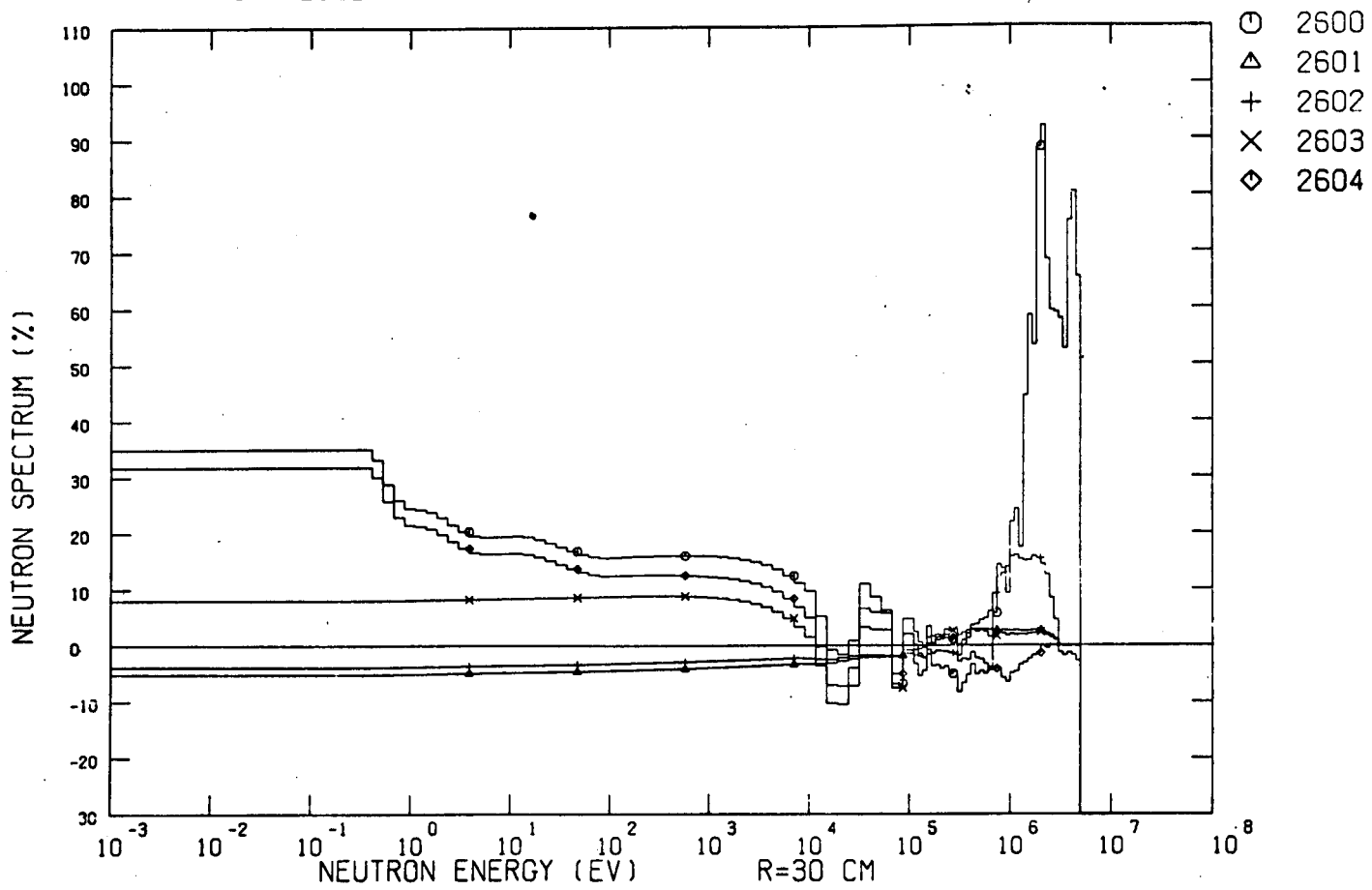


Fig. 7

SOURCE ENERGY 14.0 MEV
NORMALIZED BY 1192 CASE2

diverge

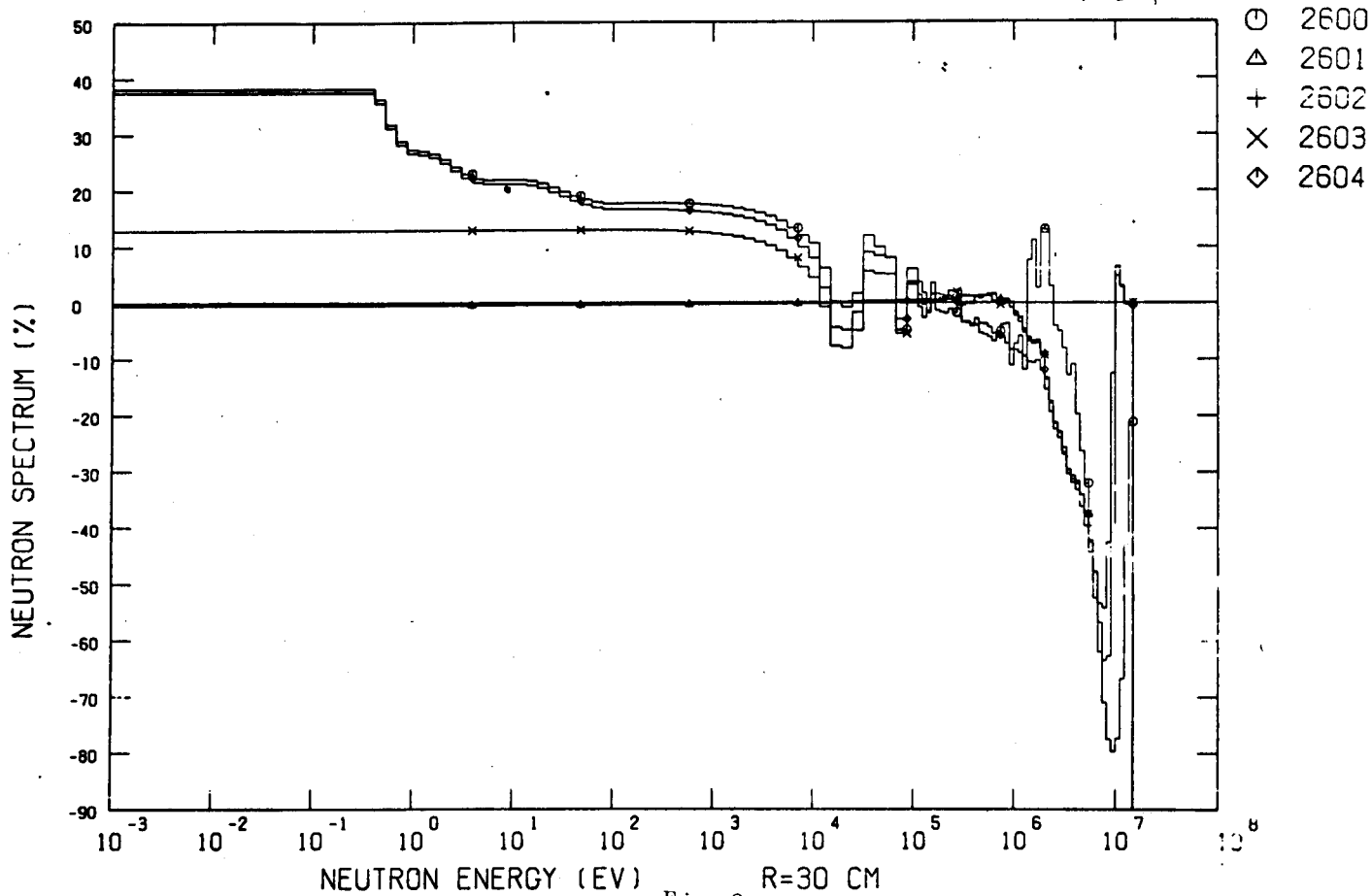


Fig. 8

SOURCE ENERGY 14.0 MEV
NORMALIZED BY 1192 CASE2

DOSE

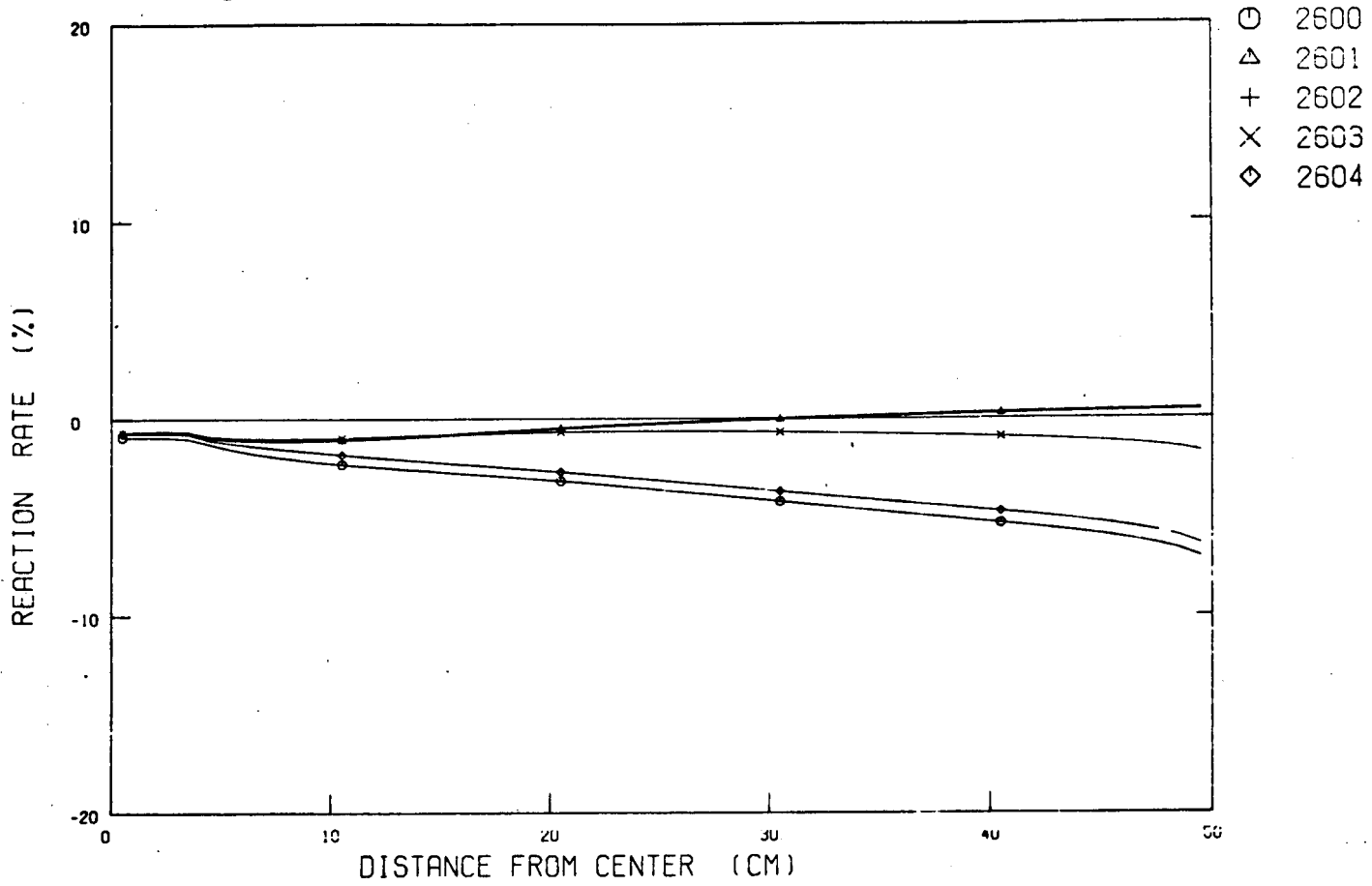


Fig. 9

SOURCE ENERGY 14.0 MEV
NORMALIZED BY 1192 CASE2

1208

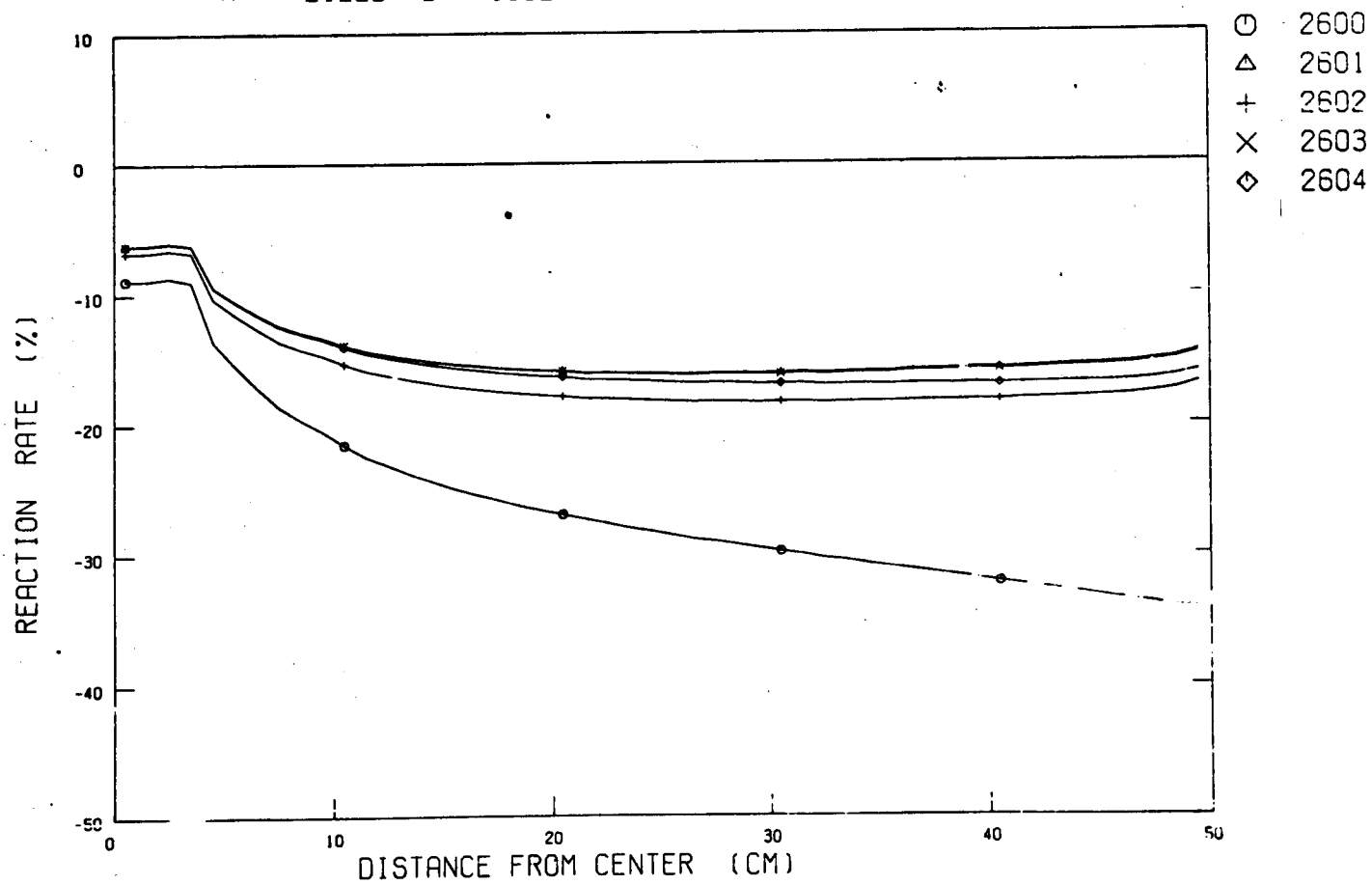


Fig. 10

は、高エネルギー側の離散レベル及び連続レベルの処理には十分注意しなければならない。第2点としては、JENDL-1に組込まれている ^{56}Fe 以外の核種の離散レベル、特にMT=51~55は無視出来ない。なぜなら、MT=51~55の励起エネルギーは低く、原子炉中の中性子の主要エネルギー領域と重なり、減速効果も高い事から、原子炉内のエネルギースペクトルを大巾に軟化させる事になり、遮蔽のみならず炉物理解析にも大きな影響を及ぼすからである。

4) まとめ

“評価済核データは、真の核データの推定値として公開されたものである。”しかし、JENDL-1とENDF/B-IVに収録されている鉄の核データの比較結果から見ると、そこには大きな相違があり、50 cm 厚さ程の鉄遮蔽体を透過した中性子束にも非常に大きな影響を及ぼしている。いずれの核データがより真値に近いかはいずれ明らかになるにしても、我々遮蔽解析に携わる者としては、早い時期に、より信頼出来る核データが作成され公開される事を望んでいる。

最後に本研究の実施に当り、核データの合成等のファイル処理をして下さった核データセンターの中川氏、群定数の作成及び遮蔽計算をして載いた遮蔽研究室の佐久間、川瀬の両氏に深く感謝します。